

**Identificação das Propriedades Mecânicas de um *stick* com
Influência no seu Desempenho Dinâmico e a sua Adaptação às
Características do Movimento de Remate**

José Luís Campos Ferreira

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Mário Augusto Pires Vaz



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2011

Ao João Miguel Pereira Sampaio, com saudade.

Resumo

Os principais objectivos deste estudo destinam-se a explorar as propriedades mecânicas de um *stick* de hóquei em patins e perceber como essas propriedades influenciam o seu desempenho dinâmico assim como a sua adaptação às características do movimento do remate. Para tal recorreu-se às ferramentas e métodos da Mecânica Experimental, a fim de avaliar o comportamento estrutural e a influência das suas propriedades mecânicas no desempenho deste objecto desportivo.

Os ensaios experimentais realizados, têm por base um mecanismo de teste de sticks de hóquei em patins, mecanismo este que foi concebido no âmbito deste trabalho

São descritos os procedimentos utilizados e apresentados os resultados obtidos. Este trabalho termina com a discussão dos resultados alcançados, a apresentação das conclusões e algumas propostas de trabalhos futuros que permitam completar o estudo aqui iniciado.

Identification of Mechanical Properties of a *stick* to influence their performance and their adaptation to dynamic characteristics of the Movement of shot.

Abstract

The main objective of the present study is the evaluation of the mechanical properties of a roller hockey stick and how they influence the athlete performance. A methodology to perform this evaluation was implemented as well as the study of the main gestures of the game and how they influence the design of the stick. The experimental mechanics methods were used to obtain the stick structural behavior during the main stroke gestures.

Experimental tests were defined and carried out using a mechanism special constructed for this purpose. Its adjustment and stroke possibilities are discussed and detailed.

The experimental procedures used are presented. The obtained results are compared with data computed from the equations of Mechanics. This work ends with a discussion of results, presenting the conclusions and some proposals for future work to allow complete study here started.

Agradecimentos

Ao Sr. Barbosa, Proprietário da Casa Michel, pela amizade e disponibilidade de material fundamental para a viabilidade deste trabalho.

À empresa JET, que se prontificou a ceder os sticks utilizados nas experiências.

Ao Sr. José Neves, agradeço a sua disponibilidade, sendo a sua ajuda preciosa na altura de facultar material utilizado nos ensaios.

Ao meu orientador, Professor Doutor Mário Vaz pelo apoio prestado, pela disponibilidade e esclarecimento de dúvidas.

Aos colaboradores do Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental – LOME, nomeadamente, ao Engenheiro Nuno Viriato e Doutor Jaime Monteiro, a eles o meu obrigado pela disponibilidade e ajuda prestada.

Aos meus pais, irmão e avó por todo o apoio dado ao longo do meu percurso académico, nunca deixando de acreditar em mim, dando-me sempre motivação, força e mostrando que era possível chegar onde cheguei e ser quem hoje sou.

A Noémie Von-Doëllinger, pelo apoio prestado, não deixando que baixasse os braços nos momentos mais complicados do meu percurso académico, a sua compreensão e paciência faz de si a minha fonte de inspiração e motivação.

Ao meu companheiro Pedro Dias por toda a ajuda que me deu durante este tempo, pela disponibilidade, união e companheirismo demonstrado.

A todos, o meu Muito Obrigado

Índice

1	Introdução	1
1.1	História do Hóquei	1
1.2	Origem do hóquei em Portugal	2
1.3	O Jogo	4
1.4	Aspectos técnicos do remate.	5
2	Estado de Arte	7
2.1	Anatomia do <i>stick</i>	9
2.2	Características de um <i>stick</i> de hóquei patins.....	11
2.3	Propriedades da madeira de freixo.....	12
2.4	A Bola	12
3	Objectivos.....	14
4	Material e métodos	15
4.1	Extensómetria eléctrica.....	15
4.2	SolidWorks® Premium (v.2010)	15
4.3	Ansys® Mechanical Workbench (v.13.0)	16
4.4	Matlab® R2010b	16
4.5	Radar de velocidade.....	16
4.6	Câmara de vídeo com registo de alta velocidade.....	17
4.7	Centro de diagnóstico para <i>sticks</i>	18
5	Projecto e construção do mecanismo de ensaio de <i>sticks</i>	20
6	Procedimento experimental	28
6.1	Caracterização dos <i>sticks</i>	28
6.1.1	Características gerais dos <i>sticks</i> em estudo	29
6.1.2	Determinação do momento de inércia	29
6.1.3	Determinação da rigidez	31
6.1.4	Determinação do Centro de massa	33
6.2	Medição da força aplicada ao <i>stick</i>	34
6.2.1	Colagem e calibração dos extensómetros.....	34
6.3	Determinação da velocidade de saída da bola	39
6.4	Ensaio experimentais dos <i>sticks</i>	44
7	Apresentação e discussão dos resultados.....	50
8	Conclusão	63

9	Trabalhos futuros.....	65
10	Lista de referências e Bibliografia.....	66
	ANEXO A: Desenhos CAD 3D do dispositivo de teste de sticks construído.....	68

Lista de figuras

Figura 1 – Jogo da <i>choca</i>	3
Figura 2 - Aspecto do primeiro patim chegado a Portugal [2].	3
Figura 3 – Equipamento de protecção a) jogador de campo b) Guarda redes [8].	4
Figura 4 – Movimento de remate de um jogador de hóquei em patins.	5
Figura 5 – Formas de agarrar o stick, a)Forma reversa b)Forma natural [9].	6
Figura 6 – Anatomia do <i>stick</i>	9
Figura 7 – Pormenor de construção da pá do <i>stick</i>	10
Figura 8 – Danos comuns na pá do <i>stick</i>	10
Figura 9 – Método de medição do comprimento dos <i>sticks</i> [7].	11
Figura 10 – Radar STALKER ATS.....	16
Figura 11 – Câmara de vídeo utilizada nos ensaios.....	17
Figura 12 – Conjunto de equipamentos que compõem o centro de diagnóstico.	19
Figura 13 – Análise do movimento de remate de um jogador de hóquei no gelo [25].	20
Figura 14 – Mecanismo desenvolvida para testar sticks de hóquei no gelo [25].	21
Figura 15 – Mecanismo para ensaio de sticks de hóquei no gelo.....	21
Figura 16 – Análise do remate efectuado por um jogador de hóquei em patins.	22
Figura 17 – Rascunho esquemático do mecanismo a adoptar.	23
Figura 18 – Vista lateral do mecanismo de teste de <i>sticks</i> de hóquei em patins.	24
Figura 19 – vista de frente do mecanismo de teste de <i>sticks</i> de hóquei em patins.	24
Figura 20 – Dimensão do punho da mão quando segura o <i>stick</i>	25
Figura 21 – Haste de fixação do stick ao dispositivo de teste.	26
Figura 22 – Esquema de funcionamento da máquina de testar <i>sticks</i>	26
Figura 23 – Vista lateral do dispositivo de testar <i>sticks</i> de hóquei em patins.	27
Figura 24 – Dispositivo de testes construído, nas posições: a) Máxima Força b) Máxima Velocidade.	27
Figura 25 – Esquema comparativo da geometria dos <i>sticks</i>	29
Figura 26 – Sistema de medição do momento de inércia.....	30
Figura 27 – Massa de 39g colada na pá do <i>stick</i> JET Special Force.	31
Figura 28 – Viga em flexão.	32
Figura 29 – Sistema para medição da rigidez à flexão.	32
Figura 30 – Sistema de medição do centro de massa	34
Figura 31 – Localização das áreas de fixação do <i>stick</i> e ponto de aplicação da carga.....	35

Figura 32 – Simulação em ANSYS para verificação do ponto de colagem do extensómetro.	35
Figura 33 – Extensómetro colado na face do <i>stick</i> .	36
Figura 34 – Balança e massas utilizadas na calibração dos <i>sticks</i> .	37
Figura 35 – Esquema de montagem utilizado na calibração dos <i>sticks</i> .	37
Figura 36 – Deformações registadas durante a calibração dos extensómetros.	38
Figura 37 – Curva característica do extensómetro colado no <i>stick</i> Compac.	38
Figura 38 – Curva característica do extensómetro colado no <i>stick</i> Special Force	39
Figura 39 – Corpos antes da colisão	39
Figura 40 – Corpos durante a colisão.	39
Figura 41 – Stick e bola momentos antes do impacto.	40
Figura 42 – <i>Stick</i> e bola depois do impacto.	42
Figura 43 – Local onde o radar foi colocado.	43
Figura 44 – Esquema de montagem dos instrumentos de medição.	44
Figura 45 – Posicionamento da bola no centro da pá.	45
Figura 46 – Posicionamento da bola na tangente com o eixo.	45
Figura 47 – Esquema de zona de impacto de um remate em pronação.	45
Figura 48 – Posicionamento do <i>stick</i> com 25° de inclinação.	46
Figura 49 - Posicionamento do <i>stick</i> com pá paralela ao chão.	46
Figura 50 – Material sintético colado na pá dos <i>sticks</i> .	47
Figura 51 – Sinal adquirido com extensómetro danificado.	48
Figura 52 – Protecção das ligações eléctricas do extensómetro.	48
Figura 53 – Deformações registadas pelo extensómetro, apenas com o <i>stick</i> em movimento.	49
Figura 54 – Sequência de remate executado pelo dispositivo de testar <i>sticks</i> .	51
Figura 55 – Sequencia de remate executado por um atleta.	51
Figura 56 – Gráfico das deformações do <i>stick</i> JET Compac.	52
Figura 57 – Força desenvolvida no instante do impacto. <i>Stick</i> JET Compac, ensaio em máxima velocidade, bola no centro.	53
Figura 58 – Pormenor do instante do impacto.	53
Figura 59 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> JET Compac, máxima velocidade, bola tangente.	54
Figura 60 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Compac, máxima força com material sintético esponjoso na pá, bola centro.	54
Figura 61 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Compac, máxima força, com massa na pá.	55
Figura 62 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Compac, máxima força.	55

Figura 63 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima velocidade, com massa na pá.....	56
Figura 64 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima velocidade.....	57
Figura 65 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima velocidade com material sintético na pá.	57
Figura 66 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima velocidade, bola tangente.	58
Figura 67 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima força.....	58
Figura 68 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima força., com material sintético esponjoso na pá.	59
Figura 69 – Gráfico da força desenvolvida no remate. <i>Stick</i> Special Force, máxima velocidade, stick posicionado a 13° de inclinação.....	59
Figura 70 – Sequência de remate em máxima força.....	61
Figura 71 – Dispositivo de teste de <i>sticks</i>	68
Figura 72 – Vista lateral do dispositivo de teste de <i>sticks</i>	69
Figura 73 – Vista explodida do dispositivo de teste de <i>sticks</i>	69
Figura 74 – Fotografia real do dispositivo de teste de <i>stick</i>	70

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Propriedades da madeira de freixo [16].	12
Tabela 2 – Especificações do radar [23].	17
Tabela 3 – Especificações da câmara de filmar [24].	18
Tabela 4 – Características geométricas gerais dos <i>sticks</i> .	29
Tabela 5 – Resultados das medições do momento de inércia.	31
Tabela 6 – Resultados da medição da carga resultante do deslocamento aplicado aos <i>sticks</i> .	33
Tabela 7 – Valores da distância ao centro de massa.	34
Tabela 8 – Valor das massas utilizadas na calibração.	36
Tabela 9 – Registo das velocidades da bola.	43

Lista de símbolos e abreviaturas

K_{SF} – Rigidez *Stick* Specia Force

K_C – Rigidez *Stick* Compac

k – Rigidez do componente,

F – Força aplicada

δ – Deformação sofrida pelo componente.

m – Massa

a – Aceleração

NHL – National Hockey League

M – Momento

I – Momento de inércia

α – Aceleração angular

r – Raio

R – Resistência

m_s – Massa do stick

v_{Si} – Velocidade inicial do *stick*

v_{Sf} – Velocidade final do *stick*

m_B – massa da bola

v_{Bi} – Velocidade inicial da bola

v_{Bf} – Velocidade final da bola

v – Velocidade

d – Distancia

Δt – Variação do tempo

PMS – Ponto morto superior

PMI – Ponto morto inferior

PVA – Ponto de variação do ângulo

FPP – Federação de Patinagem de Portugal

CIRH – Comité International de rink hockey

CAD – Computer Aided Design

fps – *Frames* Por Segundo

MatLab - Matrix Laboratory

1 Introdução

1.1 História do Hóquei

Hoje em dia é conceito geral e aceite que o desporto faz parte integrante da vida do homem.

Todas as civilizações do passado praticaram uma ou outra forma de desporto, quer consciente quer inconscientemente. As motivações terão sido talvez originadas na necessidade que o homem tinha de se manter num estado de permanente preparação física, que lhe permitisse fazer face às exigências da caça e das guerras. Assim, possivelmente o desporto organizado terá surgido em função deste estímulo.

Hoje em dia, ideias modernas têm vindo a determinar profundas alterações na planificação do desporto, onde o objectivo final passa pela massificação da actividade desportiva não só pela valorização do espírito desportivo como também pelas implicações da actividade física na saúde dos cidadãos [1].

Julga-se que as origens do hóquei remontam a antiguidade pré-clássica, pois historiadores referem-se à existência de um baixo-relevo egípcio, que mostra um grupo de crianças a bater numa bola com um bastão muito grosso [2]. Em Atenas também foi encontrado um baixo-relevo da civilização clássica grega, que representa vários jogadores em posição de jogar uma bola segurando aléus (*sticks*) [3]. Em França, nos fins da idade média, o jogo era conhecido por “*Crosse*” e por vezes chamavam-lhe “*Hoquet*”, que, possivelmente, deu origem em inglês a “*Hockey*”. Outros autores defendem que o Hóquei (em patins e no gelo) constitui uma variante do jogo *Bandy*, cujo termo em inglês designa “cajado” sendo este praticado pelos índios americanos. E se o hóquei remonta à antiguidade pré-clássica, a patinagem tem o seu aparecimento, segundo a existência de diversas gravuras, no início do século XII. A divulgação do primeiro patim de rodas é atribuída ao belga Joseph Merlin, mas foi a partir do jogo elástico do americano James Plympton (1850) que se deu a grande expansão da patinagem. Em Inglaterra começou a ser praticada em 1877, porém, apenas em 1905 foi apreciada de uma forma competitiva e organizada. A Inglaterra venceu o primeiro campeonato da Europa (1926) e do mundo (1936).

Foi a partir da segunda guerra mundial que Portugal e Espanha passaram a dominar o hóquei em patins europeu. Em 1947 Portugal venceu os terceiros campeonatos da Europa, realizados em Lisboa. A partir daí a população portuguesa ficou definitivamente conquistada por este agradável e emocionante desporto, o qual passou a ser unanimemente considerado modalidade nacional.

Actualmente é praticada em cerca de 60 países e tem como principais potências Portugal, Espanha, Itália e Argentina, estando a crescer em países como França, Suíça, Brasil, Angola, Moçambique, Estados Unidos e China através da antiga província Portuguesa, Macau. É de esperar que num futuro bem próximo a modalidade cresça ainda mais tanto em termos

masculinos como femininos de forma a poder fazer parte integrante dos Jogos Olímpicos como já fora em 1992 em Barcelona, onde não conseguiu conquistar os responsáveis para que se transformasse em modalidade olímpica [4].

1.2 Origem do hóquei em Portugal

Em Portugal, julga-se que o hóquei em patins teve a sua origem no jogo da *Choca*. Esse jogo era jogado com uma pequena bola de madeira ou com uma pinha à qual se dá o nome de *reca*, *choca* ou *porca*. Neste participam cinco jogadores munidos de um pau cada um, o qual pode ser curvo numa das extremidades. O jogo começa com as “coquerrias” na bola (*porca*). Chama-se “coquerrias” ao acto de dar com um pau na bola, sem a deixar cair ao chão. O jogador que menos “coques” der é o que vai com a *porca*, ocupando cada dos restantes jogadores uma “nicha”.

No centro do terreno há uma “nicha” ou pequena cova na terra a que se dá o nome de “celeiro”, em redor deste, á distância de dois a três metros, encontram-se quatro “nichas” para os jogadores que o defendem. Ao jogador que fica com a *porca* chama-se “porqueiro”.

O “porqueiro” tem como objectivo meter a *porca* no “celeiro”, conduzindo-a com a ponta do pau. Se o conseguir, diz estas palavras: “Remuruja *porca* suja”, e os outros jogadores têm que mudar de “nicha”. O jogador que ficar sem “nicha”, passará a ser ele quem vai com a *porca*.

Quando o porqueiro tenta meter a *porca* no “celeiro”, todos os outros jogadores fazem os possíveis para que ela não entre, evitando também que aquele ponha o pau na sua “nicha”.

Depois do tempo terminado (aproximadamente dez minutos), sem que o “porqueiro” tenha êxito, dizem-se estas palavras:

*Couto, minha nicha,
couto, meu celeiro,
borro-lhe nas barbas
ao ruim porqueiro.*

Cruzam os paus no “celeiro”, põem-lhe uma pedra em cima, vão buscar o “porqueiro” que tenta fugir e dão-lhe com o rabo em cima da pedra. Assim termina o jogo. Salienta-se que podem participar mais do que cinco jogadores.

Também se chama jogo da *choca* ou da *pinha*, da *choca*, por representar a condução de uma vaca ou *reca* para a corte; e da *pinha*, porque vulgarmente se utiliza uma pinha de pinheiro, que simboliza o animal. Parece nada ter a ver com o jogo do *mail* (palavra francesa que deriva do latim *malleum* donde também derivam as portuguesas malho e *alleo* (aléu), possivelmente, através do diminutivo *malleolum*) que se praticava durante a baixa Idade Média na França e pela Europa, mas era precisamente este jogo que atraía de uma forma especial os nobres. Não é de excluir a hipótese de ser ele o jogo da *Choca* que o primeiro conde de Vila Real, D. Pedro de Meneses, praticava em Ceuta, logo após a conquista desta praça, em 1415, quando D. João I, preocupado com a sua defesa, o abordou, tendo ele dito que o aléu defenderia a praça contra os mouros.

O que é certo, porém, é que em Trás - os - montes e Beira Alta o jogo da *Choca* difere muito do jogo do *mail* no qual cada jogador dispunha de uma bola, na sua variante individual, e tinha de fazer um determinado percurso onde havia pedras de toque. Sendo natural que D. Pedro de Meneses conhecesse o norte do país, é também natural que o jogo que praticava em

Ceuta fosse o nosso rural e caracterizado por uma violência que o afidalgado jogo da Choca/*mail* não permitia [5].



Figura 1 – Jogo da *choca*.

Em 1873, em Portugal, teriam aparecido os primeiros patins de rodas que pertenciam à Rainha D.Maria Pia, que em Mafra se exibiu neles e se julga terem sido trazidos de Paris por Madame Daupías [3]. Por curiosidade, encontra-se na sala de troféus da Federação Portuguesa de Patinagem (F.P.P), um par de patins em madeira, que supostamente terão sido utilizados pelo Príncipe Luís Filipe de Bragança, filho de El-Rei D.Carlos e da rainha D.Amélia. Esses patins foram encontrados no Palácio Ducal de Vila Viçosa [2].

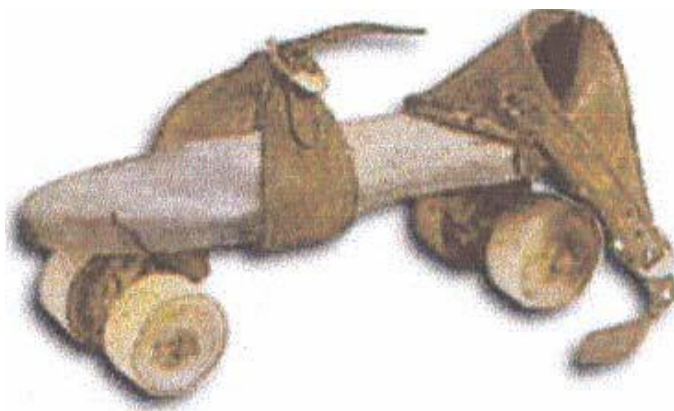


Figura 2 - Aspecto do primeiro patim chegado a Portugal [2].

Durante muito tempo a patinagem esteve ligada à aristocracia. O primeiro ringue foi construído na antiga cidade de Lourenço Marques (hoje Maputo) (1905). Os primeiros registos de patinagem em recintos públicos apontam para o Colégio Militar e Escola Académica de Lisboa (1905). Nesse mesmo ano terá sido praticada colectivamente em Carcavelos, por influência de funcionários ingleses [4]. Os ingleses foram também os responsáveis pela realização do primeiro jogo entre equipas portuguesas, Recreios Desportivos da Amadora, e Desportos de Benfica estiveram num frente a frente, sendo a equipa de Benfica quem venceu o encontro por 2-0 (1912) [3]. Os ingleses terão sido os grandes impulsionadores e influenciadores do início da prática do Hóquei em Patins em Portugal [4].

Em Janeiro de 1922, é fundada a Liga Portuguesa de Hóquei, que super-entendia no hóquei em patins e no hóquei em campo, sendo seu primeiro presidente Alberto Júlio Mouat.

A Selecção nacional esteve presente pela primeira vez nos campeonatos da Europa realizados no ano de 1930 [3], desde então e até aos dias de hoje, inúmeras são as conquistas da Selecção Portuguesa e das equipas portuguesas nas mais diversas competições, europeias e mundiais, fazendo com que hoje Portugal ocupe lugar de destaque no ranking mundial da modalidade.

1.3 O Jogo

O hóquei em patins, é um desporto colectivo e como tal caracteriza-se pelo confronto entre dois grupos de praticantes, visando a posse do objecto de jogo e respectivo controlo, os quais pretendem a concretização da finalidade máxima do jogo, a vitória [6].

O Hóquei em Patins afirma-se como um desportos em que mais esse confronto se acentua, através de disputas de bola intensas, efectuadas a grande velocidade e sob pressão. Além destes aspectos, o facto de ser uma modalidade onde a locomoção é feita sobre patins, confere-lhe uma rapidez de alternância entre situações de ataque e defesa quase única [6].

O hóquei em patins tradicional é jogado por cinco jogadores, quatro em campo e um guarda-redes para tal os seus intervenientes utilizam, patins, compostos por quatro rodas cada patim, travão, *chassis* e bota, *stick* e bola. Tendo em conta a forma como o desporto é praticado, é exigido aos seus praticantes alguns equipamentos de protecção, os quais deverão evitar ou, pelo menos, minorar os efeitos dos impactos com a bola, os embates com as tabelas ou ainda das pancadas dos *sticks* dos adversários. Para tal utilizam-se caneleiras, joelheiras, luvas, coquilha e no caso dos guarda-redes, protecção de coxa, máscara para a cabeça e protecção do peito, na figura 3 podemos ver uma representação esquemática dos equipamentos de protecção usados por cada jogador.

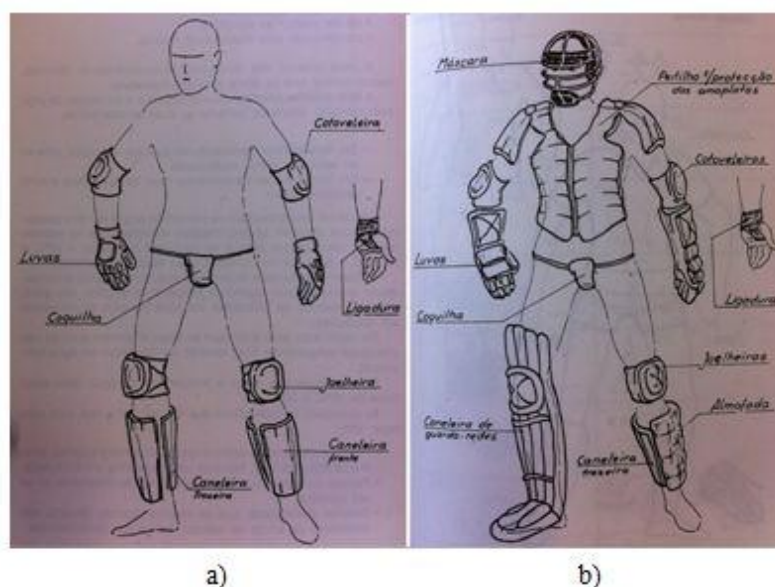


Figura 3 – Equipamento de protecção a) jogador de campo b) Guarda redes [8].

A pista de jogo tem um piso plano e liso, sendo construída num material aprovado (madeira, cimento ou outro) e que permita uma boa utilização, em termos de aderência e deslize dos

patins. Esta tem uma forma rectangular e com dimensões proporcionadas, respeitando os seguintes limites:

Dimensão mínima: trinta e quatro metros de comprimento por dezassete metros de largura

Dimensão máxima: quarenta e quatro metros de comprimento por vinte e dois metros de largura

O perímetro da pista de jogo é delimitado por uma vedação fechada, com um metro de altura e tendo quatro cantos arredondados, de formato semicircular, cujo raio pode variar entre o máximo de três metros e o mínimo de um metro [7].

Cada equipa começa por ocupar uma das metades da pista que lhe couber por sorteio, trocando de posição depois do intervalo, durante o jogo cada jogador procura, somente com a ajuda do *stick*, introduzir a bola na baliza da equipa contrária, ou seja marcar um golo.

Um ou dois árbitros principais encarregam-se de fazer cumprir as regras de jogo, sendo ajudados no controlo dos tempos pelo Árbitro Auxiliar [8].

1.4 Aspectos técnicos do remate.

Existem alguns aspectos técnicos que um atleta de hóquei em patins deve primar.

O Passe, o drible, o remate, e a rápida patinagem são os aspectos que mais evidenciam um bom jogador de hóquei em patins. O domínio de cada um dos aspectos referidos permitirá ao jogador abstrair-se dessas tarefas, as quais desempenhará naturalmente, sem precipitações, obtendo máxima concentração no jogo.

O remate é o atributo técnico que decide a partida, sendo considerado um dos meios mais importante para vencer as barreiras defensivas adversárias e chegar ao golo. O remate em hóquei patins é realizado tratando o *stick* como um pêndulo que roda em torno do tronco do atleta, apoiado sobre uma das pernas (figura 4).

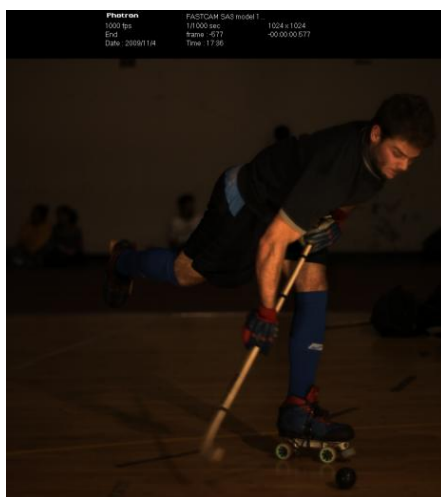


Figura 4 – Movimento de remate de um jogador de hóquei em patins.

Dada a importância do remate para o presente estudo, procurou fazer-se uma distinção entre os diferentes tipos.

Entre outros aspectos o que distinguem os diferentes tipos de remate são, a forma de excussão, a velocidade imprimida a bola, a direcção e o enquadramento do corpo do hoquista relativamente a bola, assim sendo o remate pode ser:

- Varrido/arrastado
- Batido/Pranchado
- Enrolado/acompanhado
- Colado
- De pulso
- Em pronação

Podem ainda diferenciar-se duas técnicas distintas de segurar o *stick*, forma natural e a forma reversa, na figura 5 podem ver-se as diferenças entre uma e outra forma.

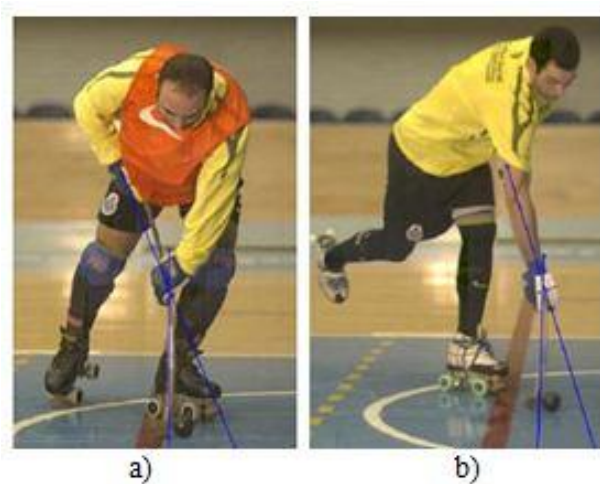


Figura 5 – Formas de agarrar o *stick*, a)Forma reversa b)Forma natural [9].

2 Estado de Arte

Como vimos o hóquei em patins é uma modalidade com algum passado histórico, a qual já deu a Portugal bastante alegrias, sendo o desporto que mais troféus arrecadou no nosso país, apesar de tantos feitos conseguidos, esta modalidade da patinagem, pouco ou nada evoluiu no sentido de a melhorar, não existem entidades a apostar na evolução pelo lado mais científico do desporto.

Mesmo existindo pessoas no meio, cientes de que o desporto já não deve ser encarado como antes, em que só o treino físico conta, só a força prima, é preciso ir em busca de respostas, criar desafios incentivar a pesquisa científica em prol da evolução do desporto, essa não tem sido feita em torno do hóquei em patins, pelo menos no nosso país.

Noutros países esta evolução começou pela realização de estudos acerca da patinagem. No fundo é a base do hóquei em patins, um bom atleta é aquele que consegue desenvolver todos os movimentos técnicos sem se preocupar com o facto de estar sobre os patins.

Foram feitos alguns estudos biomecânicos no sentido de aprimorar, quais as técnicas de patinagem, a adequar aos jogadores de hóquei em patins, para os tornar mais rápidos, uma vez que a sua velocidade de patinagem é um aspecto muito importante, o hóquei em patins é jogado a um ritmo intenso como tal os esquemas tácticos são estudados para serem executados rapidamente apanhando o adversário de surpresa.

Algumas analogias á patinagem de velocidade foram criadas, analisaram a técnica de patinadores de velocidade e relataram que este modelo pode ser adaptado para todos os desportos de patinagem, incluindo o hóquei. Defendem que para o aumento da velocidade de patinagem não é necessário a extensão total dos joelhos, tal resultaria em maior tempo entre as passadas, diminuindo a velocidade de deslocamento [10], assim para aumentar a velocidade o patinador deve aumentar a frequência dos paços, e diminuir o alcance dos mesmos.

Estudos semelhantes foram realizados no âmbito da patinagem no gelo, pode mesmo dizer-se que tudo começa aí, sendo os estudos mencionados anteriormente, um pouco reflexo do que na patinagem no gelo se estuda. O hóquei no gelo está já muito desenvolvido, com inúmeros estudos realizados em torno da segurança dos atletas durante o jogo, velocidades de patinagem, comportamento dos *sticks*, entre outros assuntos. No hóquei no gelo a evolução foi de grande notoriedade, muito por culpa dos estudos científicos realizados em torno deste desporto.

Um bom exemplo disso é a evolução dos materiais usados para criar *sticks* de hóquei no gelo, sendo grande maioria dos *sticks* feitos com um, ou uma combinação de vários materiais, essencialmente Madeira, Alumínio, Fibra de vidro, Fibra de Carbono, Kevlar® e Titânio.

Tal como no hóquei em patins os *sticks* de hóquei no gelo começaram por ser em madeira, sendo construídos por diferentes tipos de madeira de grande qualidade, estes *sticks* têm boa reputação pelo facto de permitirem maior sensibilidade ao atleta. A sua principal desvantagem, é a “imperfeição” da sua construção, com diversas discontinuidades nas propriedades dos materiais e a fraca durabilidade. Como a madeira tem tendência para deformar, ao longo do tempo, as suas propriedades, nomeadamente a flexibilidade e rigidez vão-se alterando, além disso sendo um material natural, a madeira não apresenta uma estrutura homogénea.

Uma tentativa de contornar as desvantagens que os *sticks* de madeira demonstravam, passou por utilizar alumínio na construção dos *sticks*. A maioria dos *sticks* de alumínio é composto pelo cabo feito de uma liga de alumínio e a pá de madeira. Estes *sticks* têm uma grande vantagem, a sua durabilidade é incomparável, é muito raro um cabo de alumínio partir ou danificar-se, mesmo quando utilizado por um atleta profissional, para além disso, os *sticks* de alumínio não sofrem desgaste ou deformação, como um *stick* de madeira, e podem ser fabricados com uma grande consistência a nível de flexibilidade e peso. A maior desvantagem dos *sticks* de alumínio é o facto de ser difícil "sentir" o *stick*, isto é, dificultam a sensibilidade do atleta na condução da bola.

A combinação de Fibra de vidro com a madeira tradicional, foi a primeira tentativa de construção de um *stick* em material compósito, sendo a fibra de vidro adicionada como revestimento aos vulgares *sticks* de madeira. Mais tarde os fabricantes experimentaram fazer *sticks* 100% em fibra de vidro, mas tornavam-se demasiado leves difíceis utilizar e péssima durabilidade. Esta tentativa foi um fracasso, actualmente a fibra de vidro é apenas utilizada, em conjunto com outros materiais. O mesmo não se pode dizer da fibra de carbono, este tornou-se o material de construção mais comum para os *sticks* usados em alta competição e está a crescer em popularidade mesmo entre os jogadores amadores. Esta reputação deve-se à forma como os *sticks* de carbono, combinam as características dos *sticks* de madeira e alumínio, uma vez que oferecem a sensibilidade, o clássico "sentir" e o desempenho dos melhores *sticks* de madeira, além da consistência e precisão de fabrico dos de alumínio, podendo ser fabricados com padrões de flexibilidade muito precisos, o que ajuda no poder e na precisão dos remates.

O Kevlar[®], é um componente muito comum nos *sticks* fabricados em material compósito. Começou por ser utilizado para aumentar a durabilidade das pás dos *sticks*, por esse facto, é hoje um material usado por quase todos os fabricantes.

Os *sticks* de Titânio, são um conceito relativamente novo, normalmente, apenas o cabo é em titânio, sendo a este acoplada uma lâmina de madeira ou de carbono, contudo o problema da sensibilidade é um entrave na aceitação dos *sticks* construídos neste material, tal como os de alumínio estes são difíceis de sentir [11].

Esta informação reporta-se ao fabrico de *sticks* para utilização no hóquei no gelo, contudo são conhecidas experiências equivalentes no hóquei em patins. Excluindo a utilização dos metais, proibidos pelo regulamento, a construção dos *sticks* de hóquei em patins também já beneficiou de algumas experiências com compósitos. Contudo, estas experiências não conduziram ainda a soluções satisfatórias e os *sticks* continuam a ser essencialmente construídos em madeira.

Estudo realizados no âmbito das propriedades dos *sticks* utilizados no hóquei no gelo revelaram que *sticks* com a rigidez do cabo menor produziam maior velocidade do disco

quando os jogadores de elite realizam remates. Entretanto, novos estudos concluíram que a velocidade do disco não é influenciada pela rigidez do cabo em todos os tipos de remate, sendo que a habilidade do jogador condiciona em parte um determinado tipo [12].

Outros estudos efectuados ao nível da curvatura da pá dos *sticks* de hóquei no gelo mostraram que a curvatura desta tem efeito na velocidade e precisão dos remates, tal estudo foi efectuado recorrendo a uma amostra de jogadores em idade de aprendizagem [13].

Foi realizado um estudo para testar os diferentes tipos de matérias utilizados na construção dos *sticks* de hóquei no gelo, *sticks* de madeira, alumínio e compósito foram submetidos a vários testes, nomeadamente a avaliação do centro de massa, massa, resistência à flexão, resistência à torção e resistência à rotura. Concluindo que os *sticks* de compósito se revelaram uma boa alternativa aos *sticks* de madeira uma vez que as suas características de flexão, torção podem ser controladas de forma a assemelhar-se as das melhores madeiras, outra vantagem é o facto de os *sticks* de compósito permitirem que a pá ou o cabo sejam substituídos separadamente [14].

2.1 Anatomia do *stick*

Quando se fala em *stick* de hóquei em patins, pode querer aludir-se uma de duas partes importantes que o constituem. Assim sendo pode dividir-se o *stick* em duas partes distintas, a pá e o cabo (figura6).



Figura 6 – Anatomia do *stick*.

A pá é a extremidade curva do cabo, é a superfície que o jogador usa para conduzir a bola enquanto joga.

O cabo, por outro lado, é a maior divisão do *stick*, sendo a zona que o jogador usa para segurar o mesmo, de forma a executar os movimentos normais de jogo.

A forma como o *stick* é construído, permite perceber o porque desta distinção, uma vêz que a pá e o cabo, são fabricados separadamente, sendo posteriormente colada uma parte a outra.

A pá é a parte do *stick* que menos hipótese tem de sofrer qualquer tipo de modificação, uma vez que o regulamento restringe bastante esta parte do *stick*. Contudo pode constatar-se que a pá demonstra ter sido pensada para de alguma forma resistir melhor aos impactos aos quais está sujeita, bem como à própria flexão. Tais conclusões retiram-se da sua construção mais vulgar uma vez que esta é normalmente constituída por duas partes simétricas construídas em madeira coladas a uma lâmina de material sintético semelhante ao cartão. Ao colar estes dois elementos numa construção em *sandwich* procura-se reduzir o efeito das tensões de corte devidas à flexão. Deve lembrar-se que essas tensões têm distribuição parabólica com valor máximo no plano neutro. Como as fibras da madeira são orientadas na direcção longitudinal do *stick* a colocação deste material adicional também previne as roturas entre fibras (figura 7).

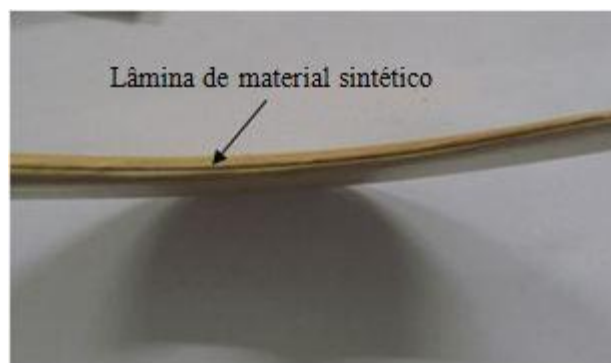


Figura 7 – Pormenor de construção da pá do *stick*.

É comum que a pá sofra danos durante a utilização, o mais vulgar é ocorrer a delaminação, no seu plano médio. Na figura 8 é possível observar a pá de um *stick* completamente destruída. Pelo facto de aparecerem vários *sticks* com o mesmo tipo de dano, adoptaram a solução construtiva referida anteriormente, na tentativa de os minimizar.



Figura 8 – Danos comuns na pá do *stick*.

O cabo do *stick*, é a parte que mais facilmente se pode modificar, uma vez que para este o regulamento não é tão rigoroso, especificando apenas que não poderá existir qualquer tipo de reforço metálico em qualquer parte do *stick*, o seu comprimento também está especificado bem como a espessura do mesmo, sendo que para esta o regulamento diz que o *stick* para ser regulamentado terá que passar por um anel de 0,05m de diâmetro.

Assim sendo pode tratar-se o cabo como sendo uma viga e modificar este para que tenha as características de inércia e rigidez desejadas, à semelhança do que é feito a este nível para os *sticks* de hóquei no gelo.

2.2 Características de um *stick* de hóquei patins

O *stick* é o instrumento que o jogador de hóquei usa para manipular e orientar a bola. O peso, a flexibilidade, a espessura da pá e a forma do cabo são alguns factores importantes do *stick*, pois influenciam o praticante na sua utilização e a habituação do atleta. Daí os jogadores com mais experiência, desbastarem partes do cabo do *stick*, o objectivo é modificar a pega e elasticidade deste, adaptando-o as suas preferências.

Por norma o *stick*, não pode exceder os 0,5kg [7], chegando mesmo a valores bastante inferiores em alguns casos. Normalmente numa equipa de hóquei em patins a massa dos *sticks* pode variar entre 0,36 e 0,42 kg, dependendo das características que os jogadores apreciam [15].

A título de exemplo temos o jogador Reinaldo Ventura do F.C.Porto, que utiliza um *stick* em que o cabo é desbastado para que fique mais fino, adaptando a pega a seu gosto, e ao mesmo tempo torna o *stick* mais flexível. Deve referir-se que este atleta é dotado de um remate bastante poderoso e colocado.

De acordo com a opinião dos especialistas a flexibilidade é normalmente um factor importante visto que influencia de algum modo a *jogabilidade* do *stick*. Grosso modo um *stick* muito flexível poderá permitir uma razoável condução de bola, mas de algum modo condiciona o remate. Por outro lado o *stick* pouco flexível, torna-se mais preciso no passe e no remate, mas menos eficiente na recepção e condução da bola.

Contudo, e para que exista uma maior unanimidade, os *sticks* tem que respeitar algumas características geométricas especificadas pelo regulamento técnico da federação de Portugal de patinagem (FPP).

Assim sendo a pá do *stick* não pode exceder os 0,05m de largura regulamentada.

O comprimento do *stick*, que é medido a partir da curva exterior do mesmo (figura 8), terá que estar compreendido, entre os 0,9 m de comprimento mínimo e os 1,15 m de comprimento máximo [7].



Figura 9 – Método de medição do comprimento dos *sticks* [7].

O regulamento prevê ainda que o tipo de material utilizado no fabrico dos *sticks*, poderá ser madeira, plástico ou outro material que seja previamente aprovado pelo Comité International de rink hockey (CIRH).

2.3 Propriedades da madeira de freixo.

Os *sticks* de hóquei em patins são normalmente fabricados em madeira de Freixo, ainda que o regulamento permita o uso de outros materiais na construção dos *sticks*, nomeadamente o plástico, esses materiais não são de toda a preferência dos construtores, pelo que a escolha do material para o fabrico dos *sticks* recaia normalmente sobre a madeira de freixo.

A qual possui propriedades de resistência óptimas em relação ao seu peso, tem excelente resistência ao choque e bom comportamento ao encurvamento sob acção do vapor, a serragem não apresenta dificuldades particulares, sendo considerada bastante fácil de executar. A colagem e acabamento, na madeira de freixo realizam-se sem dificuldades, apresentando boa recepção de ceras e vernizes.

Tendo em conta a geometria do *stick* e o tipo de uso a que este estará sujeito no seu tempo de utilização, sendo este um equipamento muito exposto e constantemente massacrado com inúmeras pancadas, a madeira de freixo evidencia características e propriedades que se revelam fulcrais para a construção de um bom *stick* de hóquei em patins.

Em seguida, na tabela 1, apresentam-se algumas das propriedades mais relevantes desta madeira.

Tabela 1 – Propriedades da madeira de freixo [16].

Freixo	Teor de Humidade	Peso específico	Flexão estática								
			Módulo de ruptura KPa	Módulo de elasticidade MPa	Trabalho à carga máxima KJ/m ³	Impacto de flexão mm	Compressão paralela ao grão KPa	Compressão perpendicular ao grão KPa	Corte paralelo ao grão KPa	Corte perpendicular ao grão KPa	Dureza lateral N
Preto	Verde	0,45	41000	7200	83	840	15900	2400	5900	3400	2300
	12%	0,49	87000	11000	103	890	41200	5200	10800	4800	3800
Azul	Verde	0,53	66000	8500	101		24800	5600	10600		
	12%	0,58	95000	9700	99		48100	9800	14000		
Verde	Verde	0,53	66000	9700	81	890	29000	5000	8700	4100	3900
	12%	0,56	97000	11400	92	810	48800	9000	13200	4800	5300
Oregon	Verde	0,50	52000	7800	84	990	24200	3700	8200	4100	3500
	12%	0,55	88000	9400	99	840	41600	8600	12300	5000	5200
Branco	Verde	0,55	66000	9900	108	970	27500	4600	9300	4100	4300
	12%	0,60	103000	12000	115	1090	51100	8000	13200	6500	5900

2.4 A Bola

Ainda que a bola não seja objecto deste estudo é aqui referida pois condiciona fortemente as características do jogo ao interagir com o *stick*. Isto é, é necessário conhecer a bola em pormenor para poder estudar o comportamento do *stick*.

Regulamentada com um perímetro de 0,23m a bola é constituída por um núcleo e por uma capa, que lhe conferem uma massa final obrigatória de 0,155 kg [7], o núcleo é feito de aglomerado de cortiça o qual apresenta duas finalidades:

- Manter baixo peso
- Proporcionar melhor resistência ao choque

A sua capa exterior é feita em material sintético, normalmente um tipo de ebonite, e tem como finalidades principais:

- Permitir um bom acabamento
- Melhor resistência ao desgaste
- Proporcionar uma elasticidade controlada.

A capa exterior tem limitações de carácter técnico, sendo normal que se altere com a temperatura.

Em consideradas temperaturas quentes, a bola amolece, “cola-se” ao *stick*, em temperaturas consideradas frias, torna-se dura e salta excessivamente.

Amplitude das temperaturas que originam tais alterações é desconhecida, pode adiantar-se no entanto que em sensibilidade prática se considera que entre 10°C e 20°C a bola mantém as suas características.

Por experiencia aconselha-se que, quer quando a temperatura ambiente, quer quando a temperatura do piso são elevadas, as bolas deverão ser colocadas em água fria para se manterem em boas condições de jogo. Por outro lado para evitar que as bolas partam quando as temperaturas são frias, deverão ser colocadas em água temperada [15,17].

3 Objectivos

O objectivo principal deste estudo visa a caracterização do comportamento dinâmico de um stick de hóquei em patins, contudo temos ainda um objectivo secundário sendo que este passa pela compreensão da influência das propriedades do *stick*, nomeadamente a rigidez, massa, inércia e geometria, e a sua influencia no comportamento do mesmo. Para cumprir com estes objectivos o *stick* deverá ser devidamente caracterizado com medição das suas principais propriedades e depois utilizado em diversos remates para poder estudar a forma como este interage com a bola durante a transferência de energia.

Por último e como objectivo futuro, propõe-se o estudo da influência do *stick* na biomecânica do remate.

4 Material e métodos

Para fazer face aos objectivos estabelecidos neste trabalho, os materiais e métodos escolhidos, serão apresentados nos próximos tópicos.

4.1 Extensometria eléctrica

O princípio de funcionamento desta técnica, baseia-se na característica dos condutores eléctricos, segundo a qual a resistência eléctrica varia em função da tensão ou deformação a que o condutor é sujeito [18].

Colocando um condutor linear solidário com a superfície de uma estrutura, pequenas variações de dimensões da estrutura são então transmitidas mecanicamente ao extensómetro, que transforma essas variações em variações equivalentes de sua resistência eléctrica [18].

Este tipo de elemento sensor é normalmente ligado a uma ponte de Wheatstone, a qual permite converter a variação da impedância num sinal de saída em tensão [19].

A utilização deste tipo de pontes de medição permite uma melhor detecção do sistema a variações muito pequenas no elemento sensor. Outra característica importante é a capacidade de conseguir definir um ponto de referência para o sistema, o zero da ponte.

Este tipo de ponte pode ser utilizado fazendo ligação em quarto de ponte, meia ponte ou em ponte completa. Neste caso foi utilizada uma ligação em quarto de ponte e extensómetros da marca HBM, com uma resistência $R = 120 \, \Omega$ e um factor de sonda $\alpha = 2,080$.

4.2 SolidWorks® Premium (v.2010)

SolidWorks® é uma das mais populares ferramentas de CAD 3D da actualidade. O Solidworks® tornou-se uma ferramenta de *design* preferida de muitos engenheiros e *designers*. Em parte por ser fácil de aprender, mas também porque possui um conjunto de ferramentas poderosas. O Solidworks® é usado por muitas empresas de topo a nível mundial para *design* dos seus produtos numa variedade de campos e aplicações.

No SolidWorks® destaca-se a capacidade de criar geometrias paramétricas de sólidos 3D, os quais podem em seguida ser utilizadas para, criar desenhos, instruções de fabrico, manuais de instruções, animações, e outros tipos de documentação.

Independentemente da complexidade do componente que está a ser criado, o processo de criação é fácil e segue os seguintes passos básicos. Primeiro é criado um esboço que assenta numa geometria básica do componente. Essa geometria básica é então refinada, acrescentando ou removendo material. Cada uma das peças desenhadas individualmente pode em seguida ser montada, de forma a construir o conjunto ou *design* final [20].

4.3 Ansys® Mechanical Workbench (v.13.0)

Este *software* permite a construção de modelos computacionais ou a importação de modelos de CAD dos componentes que se pretendam analisar, sendo que o seu uso possibilita a realização de análises a partir da construção do modelo, a aplicação de cargas e obtenção da solução chegando-se por fim à aquisição dos resultados. Este programa computacional Ansys® recorre aos métodos numéricos, mais concretamente o método de elementos finitos, método que se tornou muito popular entre engenheiros e investigadores, pois é considerado um dos melhores para resolução dos mais diversos problemas de engenharia [21].

4.4 Matlab® R2010b

MATLAB® é um sistema interactivo para computação numérica, optimizado para engenharia e desempenho em cálculo científico. Este começou por ser um programa projectado para calculo matricial, mas a sua meta tem crescido bastante ao longo dos anos, o MATLAB® tornou-se num sistema de computação flexível, capaz de resolver essencialmente qualquer problema técnico.

O programa implementa uma linguagem de programação própria e fornece uma biblioteca muito extensa de funções pré-definidas para tornar as tarefas de programação mais fáceis e mais eficientes [22].

4.5 Radar de velocidade

O radar utilizado para efectuar o registo das velocidades de saída da bola foi um STALKER modelo ATS. Este radar funciona tendo em conta o princípio básico da emissão e recepção de ondas de determinado comprimento. O radar emite pulsos curtos e espaçados de ondas em diferentes comprimentos, qualquer objecto que esteja em movimento no percurso do feixe emitido reflecte os sinais, que serão captados, na volta. Ao reflectir essas ondas, o objecto em movimento reduz o espaço entre elas, efeito Doppler, aumentando a sua frequência, quanto maior o aumento da frequência das ondas, maior a velocidade do objecto.



Figura 10 – Radar STALKER ATS.

As especificações do radar dadas pelo fabricante encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 – Especificações do radar [23].

Precisão	+/- 0.16 km/h
Faixa de velocidade	1,6-482,8 km/h
Tempo de aquisição alvo	0.01 s
Sistema Microondas	Ka Band, 20 mw
Peso	1.45 kg
Alcance máximo	
Automóveis de passageiros	2438 m
Veículos de neve	914 m
Embarcações	548 m
Basebol	152 m

4.6 Câmara de vídeo com registo de alta velocidade

Foi utilizada uma câmara de vídeo com registo de alta velocidade da marca FASTEC IMAGINGTM, modelo Trouble Shooter TS1000ME (figura 11), cujas especificações se mostram na tabela 3.



Figura 11 – Câmara de vídeo utilizada nos ensaios.

Tabela 3 – Especificações da câmara de vídeo de alta velocidade [24].

Taxa de gravação	Resolução	Trouble Shooter TS1000ME	
		Frames	Tempo [s]
125	1280 x 1024		
250	1280 x 1024		
500	1280 x 1024		
1000	1280 x 512		
2000	1280 x 256		
4000	1280 x 128		
8000	1280 x 64		
16000	1280 x 32		
125	640 x 480	4,368	34,9
250	640 x 480	4,368	17,5
500	640 x 480	4,368	8,7
1000	640 x 480	4,368	4,4
125	320 x 240	17,472	139,8
250	320 x 240	17,472	69,9
500	320 x 240	17,472	34,9
1000	320 x 240	17,472	17,5

A frequência de aquisição de imagem utilizada foi 500 *frames* por segundo (fps), sendo que para esta frequência a resolução permitida pela câmara é de 640x480 pixel.

4.7 Centro de diagnóstico para *sticks*

O centro de diagnóstico utilizado, corresponde a um conjunto de equipamentos que permite a determinação de parâmetros distintos, nomeadamente o centro de massa, rigidez e momento de inércia, de alguns equipamentos desportivos, este centro de diagnóstico foi construído encontra-se no LOME/INEGI.

O sistema de determinação do centro de massa assemelha-se a uma régua em T na qual existe um veio onde os objectos são pousados, em seguida deslocados, para um ou outro lado, até que este atinja o equilíbrio, posteriormente pode obter-se a distância até a posição do centro de massa através da escala impressa na régua.

O mecanismos que permite a avaliação da rigidez, tem por base a flexão em três pontos, ou seja, o componente a ser avaliado, é colocado em dois apoios, sendo a meio vão aplicado um deslocamento conhecido, desse deslocamento resultam reacções nos apoios que serão “lidas” por um elemento sensor. Uma vez conhecida a carga resultante da aplicação do deslocamento, facilmente obtemos o valor da rigidez do componente em estudo. São sempre efectuadas duas medições em lados opostos para despistar possíveis empenos ou assimetrias de comportamento.

O diagnóstico do momento de inércia recorre a um sistema, que tem por base o movimento de rotação dos corpos rígidos, é neste movimento que a inércia se evidencia.

O objecto em estudo, é posto a oscilar segundo um eixo definido, no qual esta acoplado o sistema de fixação, um sensor adquire a informação relativamente ao período de oscilação, esta é tratada por um programa computacional desenvolvido para o efeito, que calcula o momento de inércia, com base na informação relativa ao período do movimento. Na figura 12 pede ver-se os equipamentos que compõem o centro de diagnóstico.

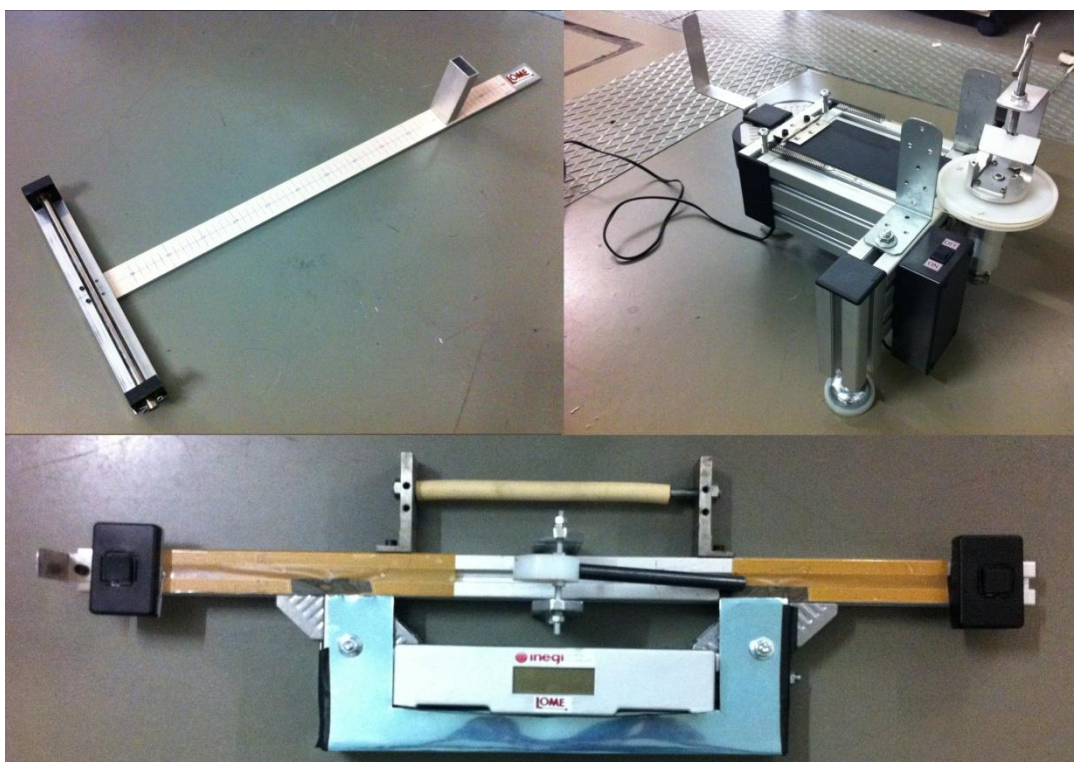


Figura 12 – Conjunto de equipamentos que compõem o centro de diagnóstico.

5 Projecto e construção do mecanismo de ensaio de *sticks*

Como se pretende estudar o *stick* durante o movimento de remate, decidiu-se construir uma estrutura que permitisse simular remates de forma repetida

Inicialmente este estudo passou por uma abordagem aos conhecimentos publicados sobre o hóquei no gelo. Trata-se de um desporto com mais praticantes e mais desenvolvido. Esta modalidade é essencialmente praticada em países mais ricos como os EU, Canada, países da ex URSS e norte da Europa como a Finlândia e a Suécia pelo que existem mais estudos realizados para a evolução desta modalidade.

Um dos textos consultados debruça-se sobre a caracterização do mecanismo de simulação do remate, no qual foi estudado o movimento de remate de um jogador de hóquei no gelo (figura 13), através de um sistema capaz de detectar os movimentos nas três coordenadas principais, x, y, z e ainda efectuar o registo temporal. Posteriormente foi feita a análise e tratamento da informação recolhida, a partir daí foi criado um mecanismo de simulação de remate, o qual permite testar *sticks* de hóquei no gelo [25].



Figura 13 – Análise do movimento de remate de um jogador de hóquei no gelo [25].

O mecanismo criado mostra-se na figura 15, este é o resultado final do trabalho desenvolvido até então no que diz respeito a simuladores de remate de hóquei no gelo.

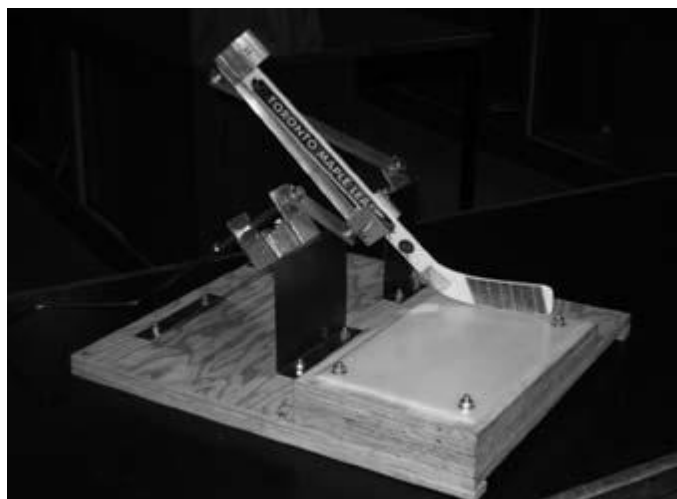


Figura 14 – Mecanismo desenvolvida para testar sticks de hóquei no gelo [25].

Como o hóquei no gelo e o hóquei em patins, tem alguns traços em comum, foi possível estabelecer algumas comparações para poder adaptar alguns destes estudos às necessidades do presente trabalho. Para isso, numa primeira fase, foi decidido adaptar o mecanismo de ensaio de *sticks* de hóquei no gelo. Uma solução conhecida seria adaptada para simular os tipos de remate de mais comuns em hóquei em patins. Para isso foi realizado um estudo comparativo dos principais movimentos de remate de ambas as modalidades.

Fez-se o desenho em CAD 3D (figura 15) do sistema apresentado anteriormente, com o intuito de analisar o movimento do mecanismo, e desta forma perceber se o mesmo poderá reproduzir o movimento de remate de um jogador de hóquei em patins.

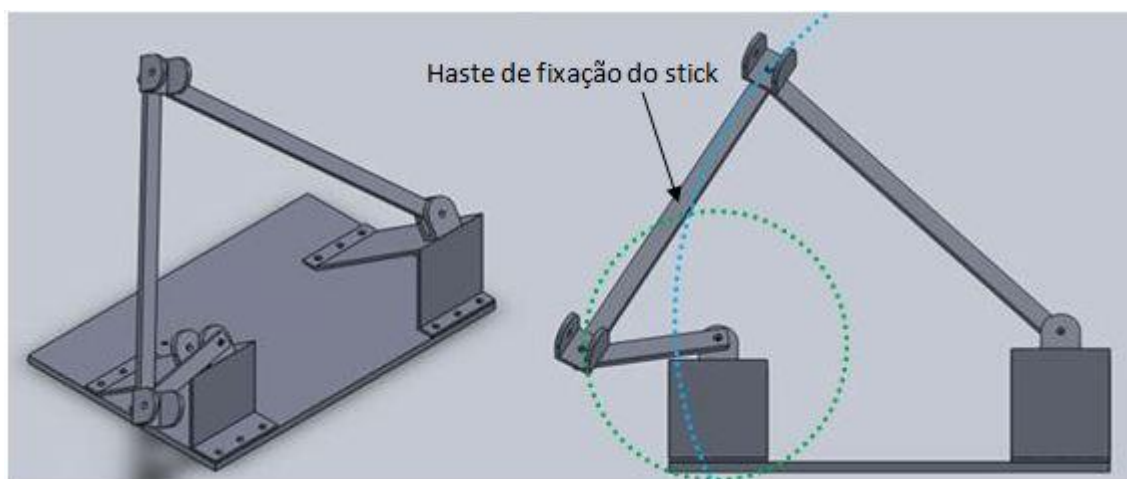


Figura 15 – Mecanismo para ensaio de sticks de hóquei no gelo.

Para que se pudesse comparar foram analisados alguns vídeos, efectuados com uma câmara de vídeo com registo de alta velocidade, de jogadores de hóquei em patins a rematar (figura 16), a partir dos quais se pode observar com clareza o movimento realizado pelo hoquista quando executa um remate, e desta forma comparar os dois movimentos.



Figura 16 – Análise do remate efectuado por um jogador de hóquei em patins.

Após uma análise mais atenta do movimento de remate executado pelo jogador de hóquei em patins e pelo jogador de hóquei no gelo concluiu-se que o mecanismo importado do hóquei no gelo e usado para testar os *sticks*, não serve para testar *sticks* de hóquei em patins.

Pode constatar-se pela análise do movimento do mecanismo, de ensaio de *sticks* de hóquei no gelo (figura 15), que na fase inicial do movimento há uma aproximação do *stick* ao chão, sendo que este movimento é característico nos remates em hóquei no gelo. Como os *sticks* desta modalidade possuem cabos de maiores dimensões permitem que os atletas os utilizem como molas aproveitando o baixo atrito entre a pá e o gelo, para conseguir uma maior potência de remate proveniente da energia armazenada na deformação do cabo. Desta forma consegue-se um efeito de mola sendo o remate designado por “*slap shot*”.

Dado que no hóquei em patins o contacto com o solo é normalmente evitado foi necessário pensar num outro mecanismo capaz de simular o movimento do jogador. A análise anteriormente apresentada permitiu constatar que o jogador de hóquei em patins, quando executa o remate, descreve com os membros superiores uma circunferência perfeita, sendo o tronco o centro da rotação. Desta forma foi fácil adaptar um mecanismo para simular o remate.

Este mecanismo tem apenas um ponto fixo, evitando os quatro pontos de rotação do sistema de simulação de *sticks* de hóquei no gelo, apresenta apenas um eixo de rotação, em torno do qual rodarão os dois apoios que visam simular as mãos do jogador (figura 17).

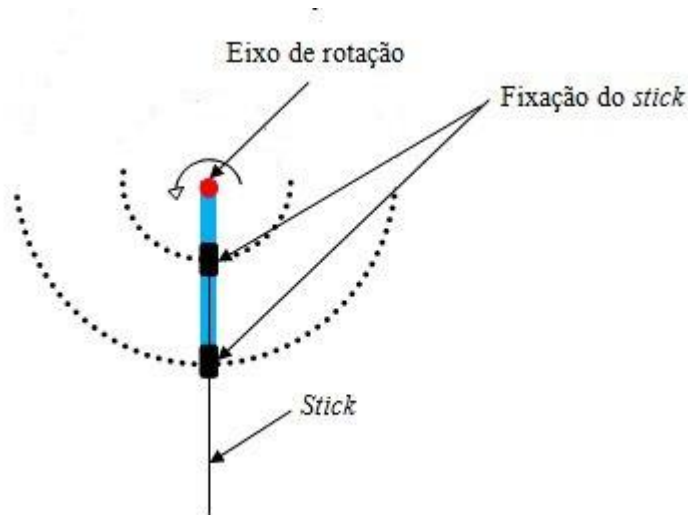


Figura 17 – Rascunho esquemático do mecanismo a adoptar.

Com este equipamento pode simular-se de forma controlada e repetitiva o movimento de remate. As vantagens da sua utilização são várias, pode fazer um número infinito de simulações, até a possibilidade de poder adaptá-lo com diferentes parâmetros, por forma, a abranger diferentes posições, bem como, diferentes situações de remate.

Este dispositivo permite cumprir o objectivo deste trabalho que é o estudo das propriedades de um *stick* de hóquei mantendo controlados os parâmetros característicos do remate, força, velocidade, eixo de rotação e ponto de impacto com a bola.

No fundo o que se pretende é ter um mecanismo que nos forneça informações precisas para fazer o estudo e posteriormente ajustar as características do *stick* para que o remate seja melhorado.

O novo mecanismo, prevê varias situações distintas, a forma como cada jogador remata varia de jogador para jogador, uma vez que não existe uma uniformidade na forma de rematar, cresce a necessidade de contemplar situações tais como a forma de agarrar o *stick*, o ângulo em que o *stick* é colocado no momento em que efectua o remate, bem como, a necessidade de um sistema de controlo da forma como o remate é executado.

Assim o sistema deve permitir:

- Regulação do ângulo de remate,
- Diferentes posições de fixação do *stick*,
- Diferentes “situações de impacto”.

As duas primeiras premissas, devem ser tidas em conta de forma a podermos abranger um maior número de situações, assim poderemos analisar o comportamento dinâmico do *stick* para as diferentes situações. A terceira premissa tem a ver com o facto de o remate se poder realizar em força ou em velocidade, certamente são aspectos a ter em conta no estudo do *stick*.

Tendo em conta os aspectos referidos anteriormente surge uma solução, que visa o accionamento do mecanismo por intermédio de um motor eléctrico. A simulação do remate implica dispor de uma elevada quantidade de energia num curto instante de tempo, isto é, a energia gerada pelo movimento rápido do atleta é transmitida à bola durante os poucos milissegundos que dura o contacto entre o *stick* e a bola. Nesta situação e quando não são necessárias elevadas taxas de repetição a opção mais eficiente consiste em armazenar a

energia em volantes de inércia e recorrer a embraiagens para activar e desactivar o movimento, estas soluções visão evitar o uso de um motor eléctrico de grandes dimensões.

O uso da embraiagem electromagnética, permitirá ao motor chegar à sua velocidade máxima e só nesse instante se dará o accionamento do restante mecanismo, ou seja o *stick* estará parado na posição inicial do movimento, cerca de um quarto de círculo, no instante que se fizer o accionamento da embraiagem o movimento de remate iniciar-se-á, após se dar o contacto com a bola a embraiagem é automaticamente desligada, e o *stick* pára imediatamente o seu movimento ficando o motor a girar livremente, até nova ordem.

Este mecanismo torna-se versátil, pois conseguimos executar movimentos de remate a diferentes velocidades, em movimento acelerado ou não. Assim sendo a solução a que se chegou mostra-se nas figuras 18 e 19.

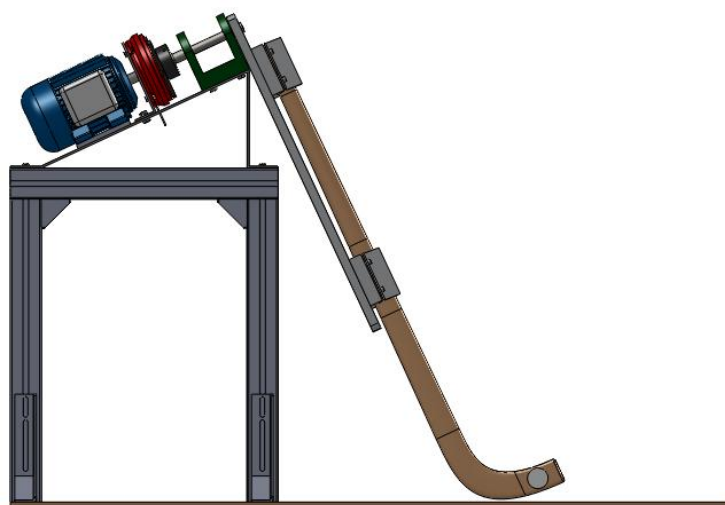


Figura 18 – Vista lateral do mecanismo de teste de *sticks* de hóquei em patins.

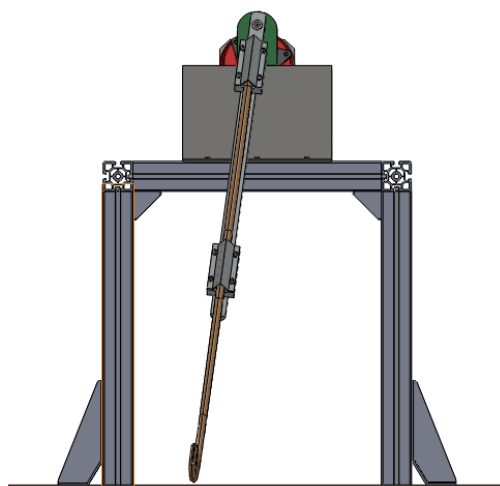


Figura 19 – vista de frente do mecanismo de teste de *sticks* de hóquei em patins.

No entanto, esta solução foi rapidamente abandonada, dados os custos de construção, pois além do motor, seria necessário adquirir também uma embraiagem e construir a árvore do mecanismo de remate. Acrescia ao custo e ao tempo de construção que não era compatível com o tempo de execução do presente trabalho.

Na impossibilidade de utilizar sistemas de armazenamento de energia baseados no movimento de massas com elevada inércia resolveu-se procurar outra solução para armazenar a energia. A opção que pareceu mais ajustada recorre a um sistema elástico, do tipo mola, para armazenar a energia necessária ao remate.

O mecanismo adoptado foi inspirado num dispositivo utilizado no lançamento de pratos, para a modalidade de tiro com armas de caça. Após uma pequena pesquisa percebeu-se rapidamente que o movimento da haste na qual o prato é pousado para posterior lançamento é semelhante ao do mecanismo que se pretende. Trata-se de uma solução mais simples em que uma mola, que facilmente se activa manualmente, pode reproduzir de uma forma simples o remate. Esta solução revelou-se mais fácil de adaptar pois foi possível obter um dispositivo com dimensões e potências compatíveis com as desejadas.

O mecanismo seleccionado pode ser aproveitado na sua totalidade, com pequenas modificações no sentido de ajustar as forças desenvolvidas pelo sistema. Modificando a mola do dispositivo de lançamento de pratos, substituindo-a por uma mola um pouco mais forte, alterando a forma do braço que produz o movimento e colocando mais massa na haste é possível adequar as características dos movimentos aos desejados.

Outro aspecto modificado foi o sistema de fixação do *stick* para permitir uma fácil montagem sem afectar o comportamento do *stick*. A haste deve permitir alguns movimentos na zona de fixação, simulando da forma mais correcta a ligação à mão de um atleta. Para tal foi concebida uma fixação com a dimensão da pega da mão de um atleta quando este tem o punho fechado na posição de segurar o *stick* (figura 21) e foi utilizado um apoio em elastómero para simular a rigidez.

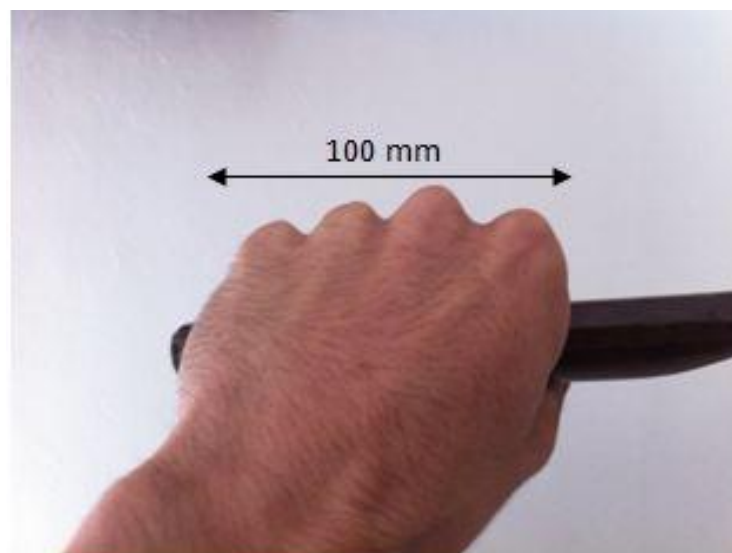


Figura 20 – Dimensão do punho da mão quando segura o *stick*.

Para isso foi construída uma haste que roda solidária com o mecanismo, e permite simular os dois apoios correspondentes às duas mãos do atleta quando segura o *stick*. Entre os dois pontos de fixação não existe qualquer obstrução ao movimento resultante da deformação do *stick*. Desta forma pode flectir livremente entre os apoios. A distância entre apoios foi definida tendo em conta a situação real de cada atleta. Nos casos estudados optou-se por separar os apoios entre si de uma distância de 400mm.

Após cumprimento de todos os requisitos impostos a barra de fixação terá a geometria que se mostra na figura 21.



Figura 21 – Haste de fixação do stick ao dispositivo de teste.

Mostra-se em seguida, na figura 22, um esquema do funcionamento do dispositivo final adoptado.

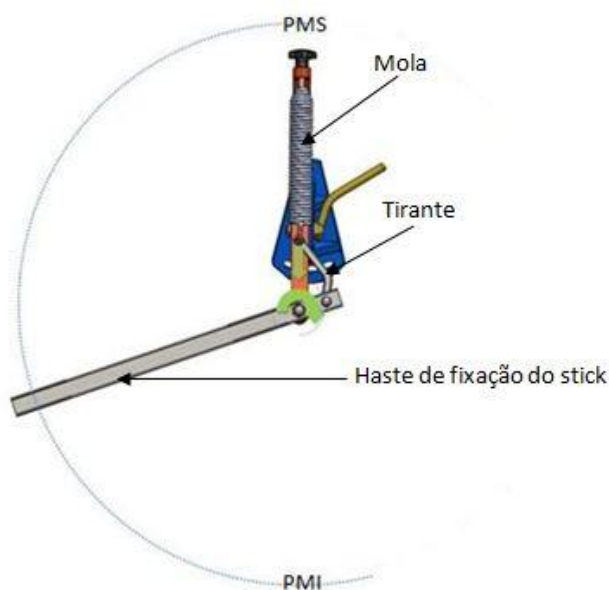


Figura 22 – Esquema de funcionamento da máquina de testar *sticks*.

Como se pode ver na figura anterior existe um tirante que é responsável pela tracção da mola cuja outra extremidade se encontra fixa ao extremo de um parafuso que permite variar a sua pré-tensão. Dada a geometria do sistema implementado existem dois pontos mortos, superior e inferior. O mecanismo possui um batente para apoio da haste quando esta está ligeiramente para lá do ponto morto superior (PMS). Desta forma o sistema fica estável e requer apenas um ligeira força para iniciar o movimento de descida. Devido ao facto de a mola estar em tracção, a haste entra em movimento acelerado até atingir o ponto morto inferior (PMI), a partir desse ponto deixa de existir aceleração no sentido do remate.

Na figura 23 é possível observar a forma como se pode variar o ângulo de posicionamento do *stick*, ou seja em torno do ponto de variação do ângulo (PVA), é possível que todo o mecanismo rode, variando assim a inclinação da haste de fixação do *stick*, sem influenciar o desempenho do restante mecanismo.

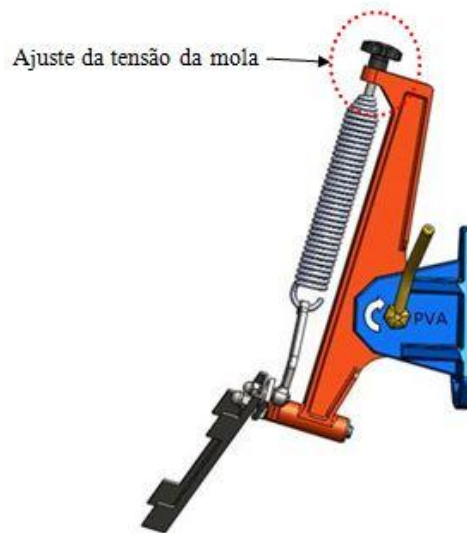


Figura 23 – Vista lateral do dispositivo de testar *sticks* de hóquei em patins.

O dispositivo foi montado numa estrutura desmontável construída em perfis de alumínio. Esta solução é também bastante versátil e permite adaptar a estrutura de suporte de acordo com os ensaios que se deseja realizar. É comum vermos atletas efectuarem diferentes tipos de remate, que variam de ocasião para ocasião. Assim sendo para obter resultados nas diferentes configurações, adoptamos uma forma de fixar o mecanismo a estrutura de forma distinta de acordo com a opção do atleta, isto é, o remate pode ser executado em força ou em potência (figura 24). No primeiro caso, remate a “empurrar”, o atleta remata com a bola encostada na pá do *stick* e procura em aceleração imprimir a máxima velocidade à bola, no segundo caso o atleta acelera o *stick* num movimento descendente e atinge a bola numa altura em que a velocidade é próxima do seu valor máximo. O dispositivo ao permitir simular estas duas situações limite poderá contribuir para uma melhor compreensão do comportamento do *stick*.

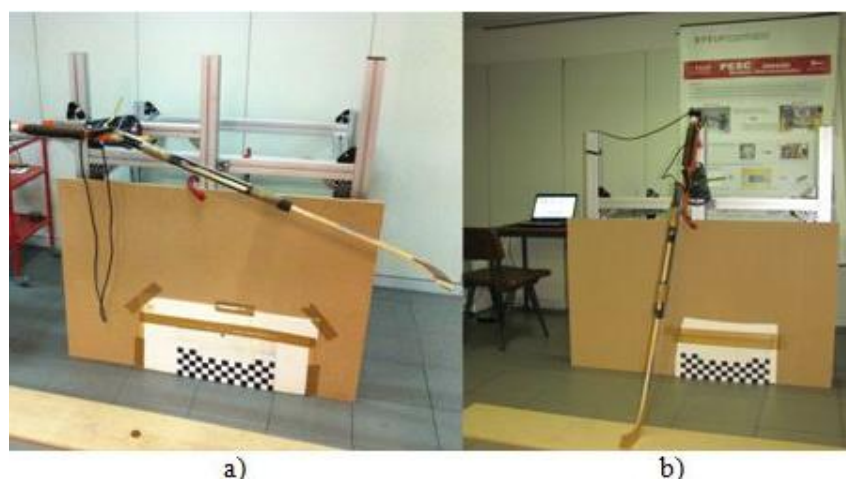


Figura 24 – Dispositivo de testes construído, nas posições: a) Máxima Força b) Máxima Velocidade.

6 Procedimento experimental

6.1 Caracterização dos *sticks*

Para caracterizar o comportamento de um *stick* existem alguns parâmetros fundamentais. A massa do *stick*, a sua distribuição ao longo do *stick*, o centro de massa a rigidez e o momento de inércia são parâmetros importantes para a sua caracterização. Estes parâmetros de uma ou outra forma irão condicionar o seu desempenho.

O que nos ocorre quando vemos um jogador de hóquei em patins a efectuar um remate, é a percepção de que a maior parte dos movimentos executados com o *stick* são circulares, e em torno de um eixo fixo, ou seja, a posição do centro de massa do *stick*, pode condicionar a potência de remate, este parâmetro altera as características de inércia do *stick*, que estão relacionadas com o movimento de rotação.

Como a maior parte dos movimentos são de rotação, é o momento axial de inércia que caracteriza o seu desempenho dinâmico. De mencionar que o momento axial de inércia varia linearmente com a massa e com o quadrado da distância entre o centro de massa e o eixo de rotação, pelo que, como foi dito, podemos ter *sticks* mais leves mas com maior inércia e desta forma as forças desenvolvidas no impacto com a bola serão superiores.

Outro aspecto importante é a rigidez do *stick*, esta varia com a geometria e com o tipo de material de que é construído. Se este parâmetro for associado a matéria das colisões, rapidamente se percebe que se pode aumentar ou diminuir o tempo de contacto com a bola, se tivermos um *stick* mais ou menos rígido, variando o coeficiente de restituição entre o *stick* e a bola.

O *stick* que tenha a capacidade de armazenar uma maior quantidade de energia potencial elástica, será o que tem maior desempenho no remate ou seja com o qual as bolas sairão a uma maior velocidade.

Tudo isto são parâmetros que devem ser avaliados na caracterização do *stick*. Para isso foram realizados um conjunto de ensaios em que se procurou conhecer em detalhe o comportamento do *stick*. Os modelos de *stick* utilizados foram gentilmente cedidos pela empresa JET, na pessoa do seu presidente Sr. João Rodrigues. Trata-se de um par de *sticks* novos em que um deles apresenta uma diferente geometria de pá. Nos tópicos que se seguem serão caracterizados os dois modelos da marca JET, que são designados comercialmente por JET Special Force e JET Compac.

6.1.1 Características gerais dos *sticks* em estudo

No presente tópico, apresentamos as características gerais que distinguem cada um dos *sticks* em estudo, onde distinguimos o comprimento, a massa e a largura da pá (tabela 4).

Tabela 4 – Características geométricas gerais dos *sticks*.

Stick	Comprimento [m]	Massa [kg]	Largura da pá [m]
Special Force	1,17	0,523	0,050
Compac	1,16	0,545	0,050

Deve salientar-se que o *stick* JET Special Force (representado a verde na figura 25) apresenta uma característica peculiar, que corresponde a um desenvolvimento introduzido pela JET com a modificação da geometria da pá, sendo esta relativamente mais comprida e com uma curvatura diferente, quando comparada com a pá do *stick* JET Compac (representado a vermelho na figura 25), este aspecto foi tido em conta e procurou-se averiguar se esta modificação evidencia de algum modo as características de remate do respectivo *stick* relativamente ao mais vulgar. Na figura 25 fez-se a sobreposição das imagens de ambos os *sticks* com o intuito de evidenciar melhor as suas diferenças.

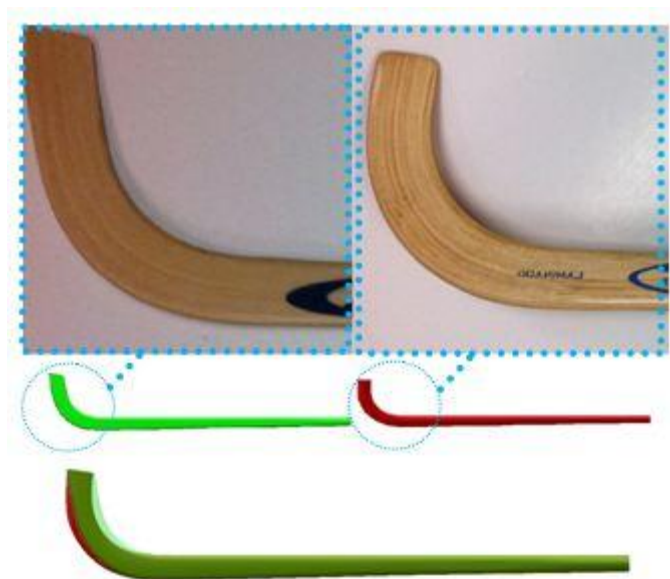


Figura 25 – Esquema comparativo da geometria dos *sticks*.

6.1.2 Determinação do momento de inércia

Como é sabido da dinâmica do movimento do corpo rígido, qualquer corpo com tamanho e forma definidas, a aplicação de um sistema de forças pode provocar-lhe rotação e/ou translação.

Enquanto os movimentos lineares são regidos pela expressão $F = m \cdot a$, os aspectos rotacionais, provocados por momentos, são governados pela expressão $M = I \cdot \alpha$, onde I corresponde ao

momento de inércia e α à aceleração angular segundo o eixo de rotação. Assim sendo este parâmetro é uma medida de resistência de um corpo a uma aceleração angular [26].

É importante salientar que o momento de inércia axial se mede sempre relativamente a um eixo de referência arbitrado, desta forma o valor do momento de inércia difere sempre que o calcularmos relativamente a um eixo diferente.

O momento de inércia é definido da seguinte forma:

$$I = \int_m r^2 dm \quad (1)$$

Este parâmetro pode ser calculado a partir do conhecimento da geometria e distribuição de massa do corpo relativamente a um referencial previamente definido. Uma forma alternativa de o obter consiste na sua medição experimental. Para isso foi montado um pêndulo horizontal de baixo atrito, com um sistema de medição rigorosa do período de oscilação. Este equipamento foi adaptado para permitir medir com rigor o momento de inércia do *stick* e foi redigido um protocolo para orientar a esta medição. Neste procedimento o *stick* é fixado no mecanismo de medição a uma distância de 400 mm a contar desde a ponta do cabo do *stick*, como se mostra na figura 26.

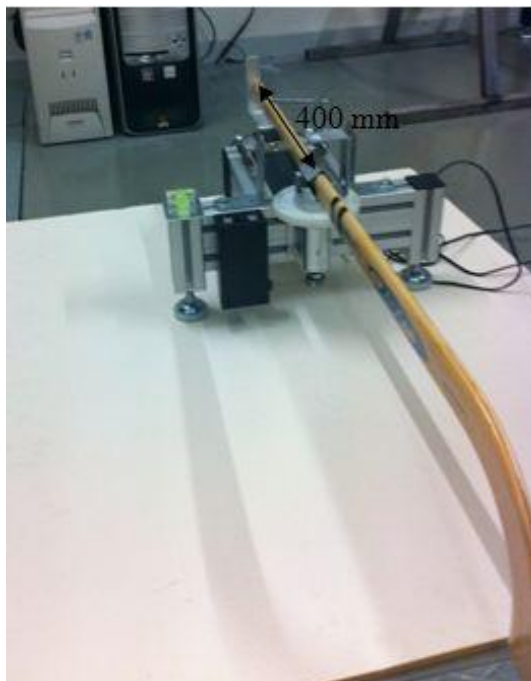


Figura 26 – Sistema de medição do momento de inércia

Os resultados das medições dos momentos de inércia, para cada um dos *sticks* em estudo podem ser vistos na tabela 5, na qual estão os valores registados das medições do momento de inércia relativa a cada um dos *sticks* com e sem acréscimo de uma massa de 39g na pá do *stick* (figura 28). A adição de massa prevê identificar a influencia desta na inércia do *stick*, e posteriormente verificar como se evidencia no comportamento dinâmico do mesmo.



Figura 27 – Massa de 39g colada na pá do *stick* JET Special Force.

Tabela 5 – Resultados das medições do momento de inércia.

Medição do momento de inércia dos <i>sticks</i> [Kg.cm ²]			
Sem massa na pá		Com massa na pá	
Special Force	Compac	Special Force	Compac
611,84	662,14	733,68	782,62
611,64	661,98	734,19	785,68
611,44	662,01	734,22	782,39
611,60	662,03	733,88	782,83
611,36	661,88	733,76	783,02
Média ± Desvio padrão		Média ± Desvio padrão	
611,58±0,19	662,01±0,09	733,95±0,25	783,31±1,35

De notar que o momento de inércia do *stick* JET Compac sem massa é 8,2 % superior ao momento de inércia do *stick* JET Special Force. A colagem da massa na pá provocou um aumento de 16% no momento de inércia dos *sticks*.

6.1.3 Determinação da rigidez

Para o efeito de determinação da rigidez apenas foi tido em consideração o cabo do *stick*. Esta forma pode ser tratada como uma viga.

Consideremos o caso da viga de secção constante (figura 29) sujeita a flexão em três pontos. Ainda que em utilização a carga seja aplicada na pá, isto é, fora dos apoios fornecidos pela pega a duas mãos do atleta, o sistema foi concebido com a carga aplicada a meio vão, entre dois apoios simples, o que em termos de determinação da rigidez à flexão não deve introduzir diferenças significativas.

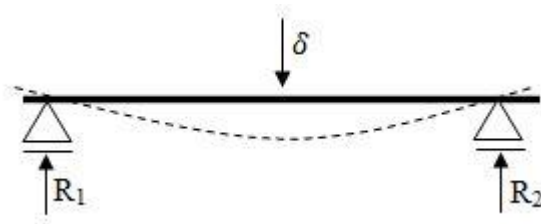


Figura 28 – Viga em flexão.

Para a definição do protocolo de medida admitiu-se que o material da viga obedece à Lei de Hooke e que para o nível de tensões em causa o comportamento ocorre no domínio linear.

É sabido que a rigidez de um determinado componente é dada pela seguinte expressão.

$$K = \frac{F}{\delta} \quad (2)$$

Onde:

k – Rigidez do componente,

F – Força aplicada ao componente,

δ – Deformação transversal (flecha) do componente.

Para a determinação da rigidez dos *sticks*, utilizou-se um mecanismo (figura 29), também ele desenvolvido no Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME), que permite a aplicação de um deslocamento de 10mm a meio dos apoios, nos quais o *stick* é colocado lateralmente e que distam entre si 720mm. O deslocamento é aplicado por um excêntrico que roda solidário com uma alavanca. Os apoios possuem células de carga que somam as forças provocadas em ambos os apoios pela imposição do deslocamento.



Figura 29 – Sistema para medição da rigidez à flexão.

O mecanismo descrito, permite saber de uma forma expedita o valor da carga em Kg, resultante da aplicação do deslocamento. Os valores recolhidos para ambos os *sticks* estão registados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da medição da carga resultante do deslocamento aplicado aos *sticks*.

Carga resultante do deslocamento aplicado			
Special Force		Compac	
Cabo frente [N]	Cabo trás [N]	Cabo frente [N]	Cabo trás [N]
166,77	179,52	215,82	179,52
168,73	179,52	211,89	179,52
168,73	179,52	211,89	179,52
165,78	179,52	208,95	179,52
165,78	179,52	208,95	179,52
Média ± Desvio padrão			
173,34±0,74		195,51±1,41	

Os valores tabelados representam apenas o valor da carga resultante do deslocamento aplicado. Utilizando a expressão (2) facilmente se chega ao valor da rigidez de cada um dos *sticks*.

$$K_{SF} = \frac{F}{\delta} = \frac{17,67 \times 9,81}{\frac{10}{1000}} = 17334,27 N/m$$

$$K_c = \frac{F}{\delta} = \frac{19,93 \times 9,81}{\frac{10}{1000}} = 19551,33 N/m$$

Verifica-se que a rigidez do *stick* JET Compac é substancialmente superior à do *stick* JET Special Force, sendo este cerca de 11 % mais rígido.

6.1.4 Determinação do Centro de massa

O centro de massa corresponde ao ponto onde se pode considerar concentrada toda a massa do corpo sem que o seu comportamento se altere. No caso de um sistema físico composto por várias massas de um corpo rígido corresponde ao ponto onde é nulo o momento estático do conjunto [26]. Ainda que possa ser calculado a partir da geometria e densidade do corpo pode também ser estimado recorrendo a alguns procedimentos simples. Assim sendo para a determinação do centro de massa do *stick*, segundo o eixo longitudinal, foi utilizado o dispositivo que se mostra na figura 30.



Figura 30 – Sistema de medição do centro de massa

Este dispositivo assemelha-se a uma régua em T na qual existe um cilindro, onde o *stick* é pousado, de forma a ficar em equilíbrio. Para essa posição é possível medir a distância do ponto de equilíbrio até à extremidade do cabo do *stick*. Os resultados desta medição, para cada um dos *sticks* encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 – Valores da distância ao centro de massa.

Posição do Centro de Massa	
Special Force	Compac
568mm	578mm

Com os dispositivos acima mencionados foi possível obter o momento axial de inércia, a rigidez à flexão e a posição do centro de gravidade. Trata-se dos principais parâmetros com influência no comportamento dinâmico do *stick* pelo que, à semelhança do que acontece com as raquetes de ténis, pode dizer-se, que este conjunto de dispositivos constitui um centro de diagnóstico de *sticks*. Com este equipamento podem obter-se as características mais importantes de cada *stick*.

6.2 Medição da força aplicada ao *stick*

Para poder compreender a forma como o *stick* intervém no remate é necessário conhecer a força que este transfere do atleta para a bola. Trata-se de uma medição que deverá ser realizada indirectamente e durante o tempo de duração do remate. Neste caso optou-se por instrumentar o *stick* com sensores de deformação e obter a força transmitida à custa das deformações induzidas. O sinal assim obtido permite conhecer a evolução da força no tempo e a sua amplitude. A obtenção do sinal foi efectuada com a colocação de extensómetros no local onde se prevê que as deformações sejam maiores. Para o correcto posicionamento dos extensómetros recorreu-se a um cálculo estático realizado previamente no código de elementos finitos ANSYS®.

6.2.1 Colagem e calibração dos extensómetros.

Cada um dos *sticks* foi previamente desenhado recorrendo ao programa de CAD 3D, SolidWorks®, em seguida o desenho de cada um dos *sticks* foi exportado para o software de elementos finitos, ANSYS®, nesta altura pretendemos simular as situações de carregamento e fronteira, às quais o *stick* estará sujeito quando se realizar os testes ao mesmo, este será então

fixo em dois pontos que distam entre si 400mm, e carregado na pá com uma força de 10kg como mostramos na figura 31.

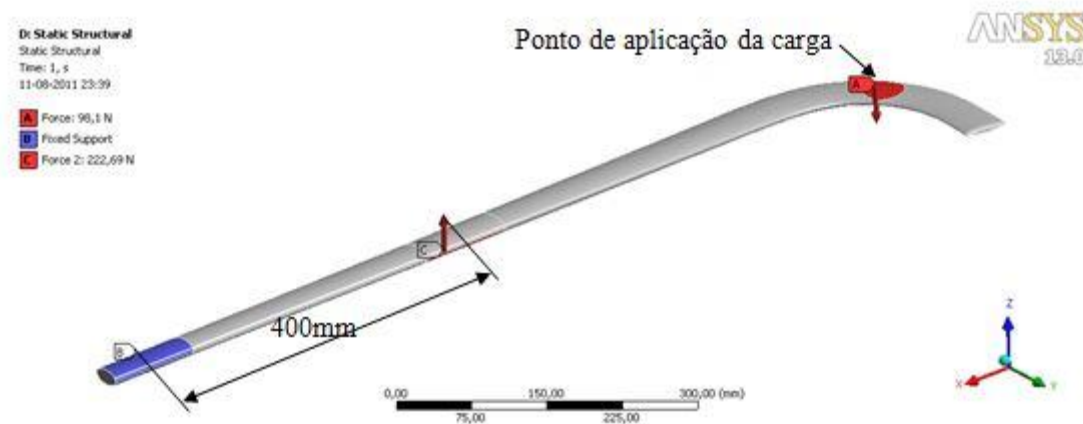


Figura 31 – Localização das áreas de fixação do *stick* e ponto de aplicação da carga.

Para prosseguir com a simulação foi imprescindível definir as propriedades do material. A informação adquirida permitiu averiguar que os *sticks* são fabricados em madeira de freixo, a qual apresenta as seguintes propriedades:

Módulo de Young: 9,6 GPa

Densidade: 534 kg/m³

Coefficiente de Poisson: 0,371

Estes valores foram introduzidos no *software* de simulação, para finalmente saber o ponto de colagem dos extensómetros. Este foi determinado tendo em conta o ponto onde se verificam os valores máximos de deformação obtidos na simulação (figura 32).

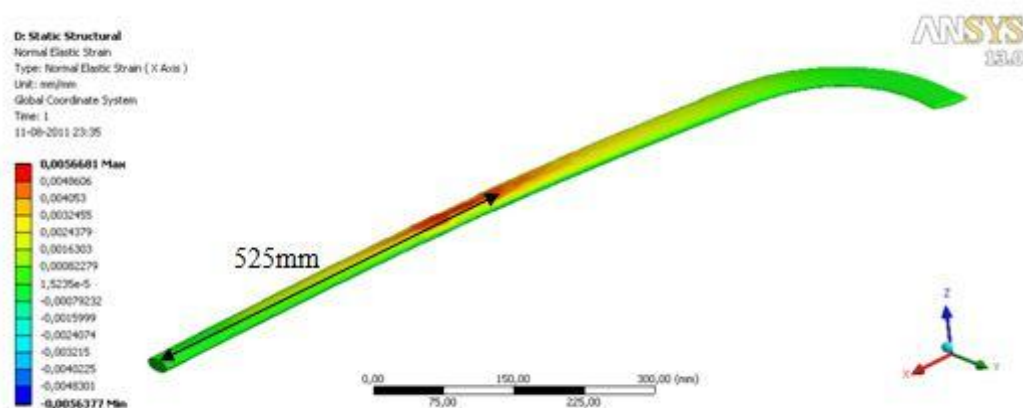


Figura 32 – Simulação em ANSYS para verificação do ponto de colagem do extensómetro.

Ficou assim definido que os extensómetros seriam colados a distância de 525 mm, a contar da extremidade do cabo.

Uma vez definido o ponto onde os extensómetros iriam ser colados, passou-se a preparação da zona de colagem, uma vez que a madeira apresenta alguma porosidade, colocou-se

primeiramente uma camada de cola que posteriormente foi “lixada” de forma a permitir que o adesivo fixasse melhor o extensómetro a superfície do cabo do *stick*. O extensómetro colado apesar de não ser o mais adequado para uso em madeira, não apresentou qualquer instabilidade.

Na figura 33 podemos ver o resultado final da colagem do extensómetro.



Figura 33 – Extensómetro colado na face do *stick*.

Concluída a colagem do extensómetro e posterior ligação ao sistema de aquisição de dados, a calibração dos extensómetros foi o passo que se seguiu. Este processo engloba duas tarefas:

- Aplicação de cargas conhecidas num determinado ponto do *stick*;
- Registo das deformações sofridas pelo *stick* em cada carregamento.

Os extensómetros foram ligados ao módulo de aquisição de sinal, o qual funciona associado ao LabVIEW SignalExpress, este é um *software* de aquisição de dados, produzido pela empresa National InstrumentsTM, o módulo foi utilizado a uma frequência de aquisição de 2Hz, não se justifica utilizar uma frequência mais elevada, uma vez que a calibração se faz em regime praticamente estacionário.

Carregou-se o *stick*, com diferentes massas de valor conhecido (tabela 8).

Tabela 8 – Valor das massas utilizadas na calibração.

	Massas [kg]	Somatório das massas [kg]
1	1,998	1,998
2	1,997	3,995
3	2,003	5,998
4	2,000	7,998
5	1,005	9,003
6	1,000	10,003

Para determinar o valor de cada massa foi utilizada uma balança da marca Worten com capacidade máxima de 3Kg e uma sensibilidade de 0,001Kg (figura 34).



Figura 34 – Balança e massas utilizadas na calibração dos *sticks*.

As condições de fronteira utilizadas para efectuar a calibração dos *sticks*, foram as que se mostram na figura 35.



Figura 35 – Esquema de montagem utilizado na calibração dos *sticks*.

Cada uma das massas foi colocada sequencialmente, com um intervalo de espera, de forma a ocorrer a estabilização do sistema de aquisição. Após efectuado o carregamento, procedeu-se ao descarregamento do *stick*, igualmente de forma sequencial.

A aquisição dos dados da calibração tem o aspecto que se mostra na figura 36, nesta é possível ver o registo de deformação do *stick* ao longo do tempo, para as diferentes cargas aplicadas. De notar que os patamares de carregamento e descarregamento, coincidem, o que revela boa qualidade das medições, bem como estabilidade do extensómetro.

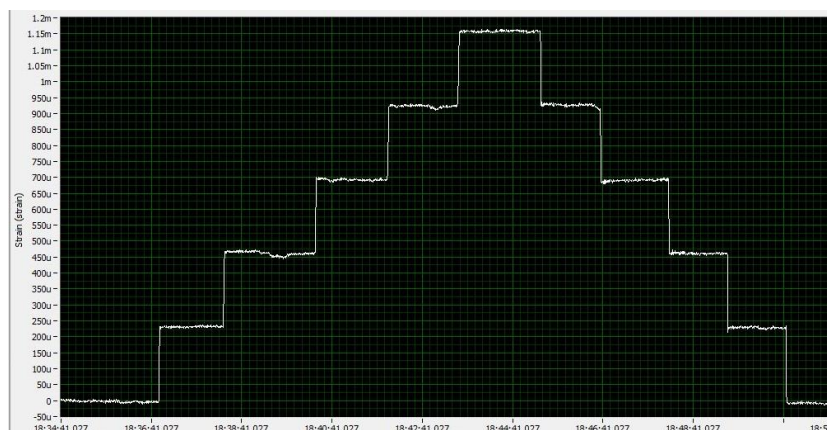


Figura 36 – Deformações registadas durante a calibração dos extensómetros.

Estes dados foram depois tratados com recurso a ferramenta EXCEL, que permitiu traçar a curva característica (figura 37), neste caso linear, e a respectiva equação da recta de regressão. Com esta informação, pode saber-se a força que uma determinada deformação provoca.

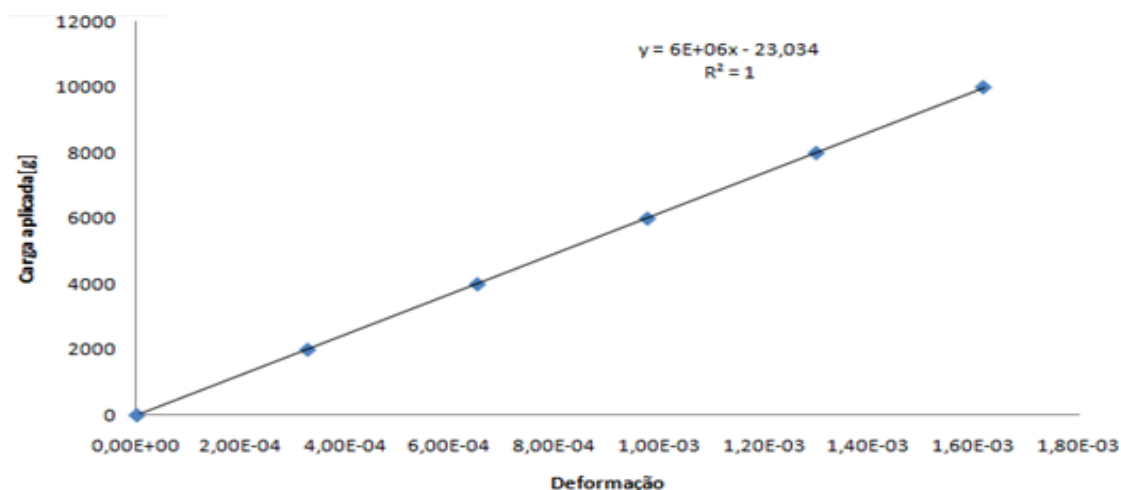


Figura 37 – Curva característica do extensómetro colado no *stick* Compac.

O mesmo procedimento foi efectuado para calibrar o *stick* Special Force, apesar dos extensómetros colados serem iguais, é de todo conveniente fazer a sua calibração, uma vez que as características de rigidez dos *sticks* são diferentes, logo comportam-se de diferente forma. Assim sendo o resultado desta calibração mostra-se na figura 38.

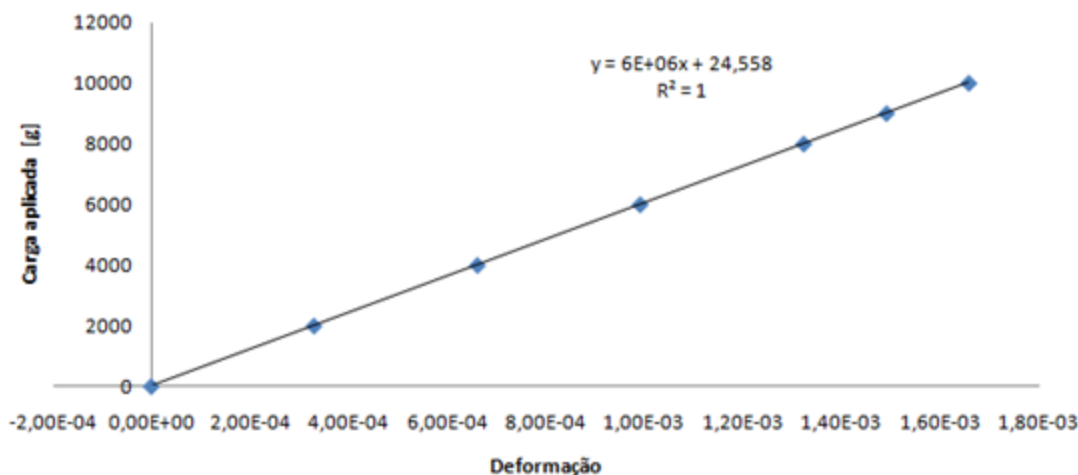


Figura 38 – Curva característica do extensómetro colado no *stick* Special Force

6.3 Determinação da velocidade de saída da bola

Diz-se que uma colisão ocorre quando dois corpos entram em contacto durante um breve intervalo de tempo desenvolvendo forças impulsivas, exemplo disso é a batida do *stick* de hóquei em patins na bola.

Para efectuar a análise de uma colisão, podemos considerar dois pequenos corpos representados pelas esferas A e B, como mostramos na figura 39.

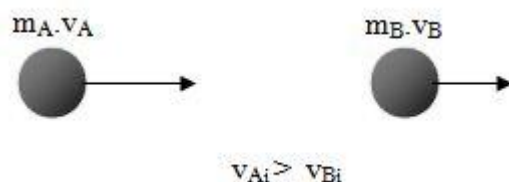


Figura 39 – Corpos antes da colisão

Durante a colisão os corpos devem ser vistos como sendo deformáveis, em que durante o tempo de contacto eles exercem mutuamente impulsos de deformação opostos $\int P dt$ com o mesmo módulo e direcção mas sentidos opostos (figura 40).

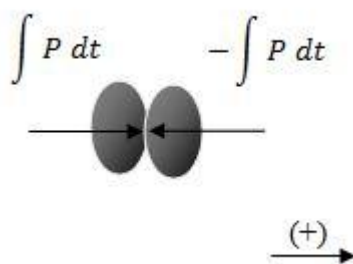


Figura 40 – Corpos durante a colisão.

Imediatamente a seguir ocorre um tempo de restituição, altura em que os corpos, voltam as suas formas originais, ou então ficam permanentemente deformados, este impulso de restituição afasta os corpos.

Depois da separação os corpos terão quantidades de movimento diferentes, em parte porque as propriedades de qualquer corpo são tais que os impulsos de deformação são sempre diferentes dos de restituição [26,27].

Aplicando a lei da conservação da quantidade de movimento, que se escreve:

$$m_A \cdot v_{Ai} + m_B \cdot v_{Bi} = m_A \cdot v_{Af} + m_B \cdot v_{Bf} \quad (3)$$

É possível estimar a velocidade de saída da bola, isto se soubermos a velocidade do *stick* imediatamente antes de iniciar o contacto com a bola. Para isso recorreremos as imagens filmadas com a câmara de vídeo com registo de alta velocidade.

Recolhemos uma imagem das filmagens efectuadas (figura 41), uma vez que sabemos a frequência de aquisição a qual a câmara está a trabalhar (500fps) facilmente sabemos o tempo que esta demora de um ponto a outro.

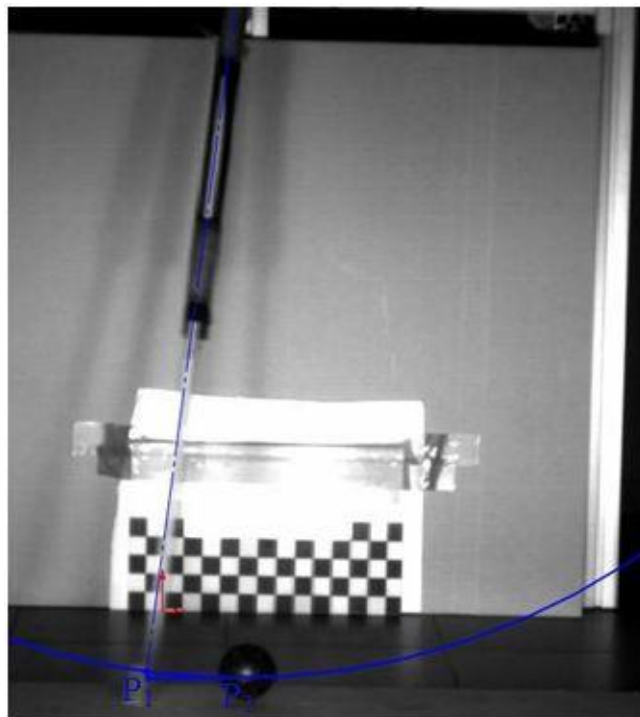


Figura 41 – Stick e bola momentos antes do impacto.

Como sabemos que passam 2 frames desde a posição P_1 até à posição P_2 , facilmente chegamos ao valor do tempo que esta demora a percorrer a distância $d=100\text{mm}$ que os pontos P_1 e P_2 distam entre si.

$$T = \frac{1}{500} = 0,002s$$

$$2 \times 0,002 = 0,004s$$

O tempo que o *stick* leva a percorrer os 100mm são 0,004s.

Como sabemos a velocidade é dada por:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (4)$$

Então a velocidade do *stick* imediatamente antes do contacto com a bola é:

$$v_{Si} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{100}{\frac{1000}{0,004}} = 25m/s \approx 90km/h$$

Aplicando agora o principio do impulso e quantidade de movimento facilmente se chega ao valor da velocidade com que a bola sai do *stick*.

$$m_S \cdot v_{Si} + m_B \cdot v_{Bi} = m_S \cdot v_{Sf} + m_B \cdot v_{Bf}$$

Chama-se S ao *stick* e B a bola pela expressão anterior é possível determinar o valor da velocidade da bola.

$$m_S = 523g$$

$$v_{Si} = 25m/s$$

$$v_{Sf} = ? m/s$$

$$m_B = 155g$$

$$v_{Bi} = 0m/s$$

$$v_{Bf} = ? m/s$$

Resta ainda uma incógnita, a velocidade final do *stick*, para a determinar segue-se o mesmo método utilizado para determinar a velocidade inicial do *stick*.

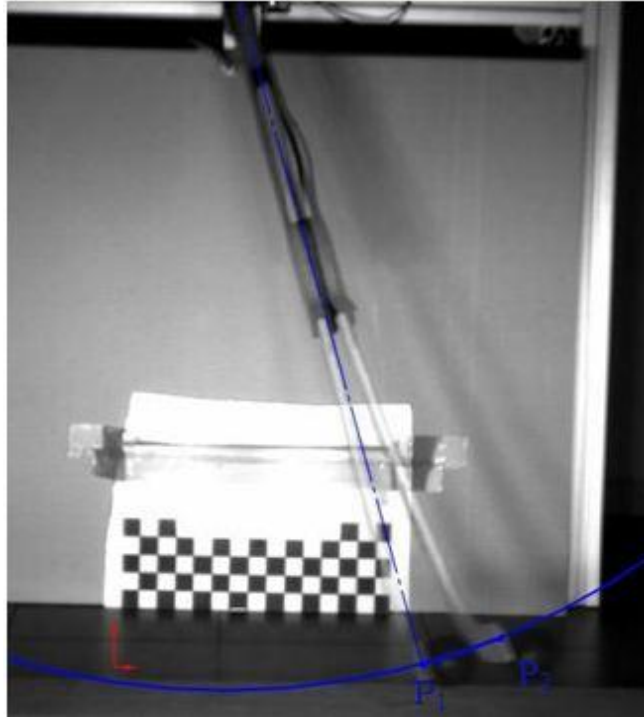


Figura 42 – *Stick* e bola depois do impacto.

Desta vez a distancia entre os pontos P_1 e P_2 é 120mm e o tempo que o *stick* demora a percorrer essa mesma distância é 3 *frames*, como foi dito anteriormente 1 *frame* corresponde 0,002s assim sendo 3 *frames* são 0,006s, procede-se então ao cálculo da velocidade final do *stick*.

$$v_{sf} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{120}{0,006} = 20m/s \approx 72km/h$$

Note-se que o *stick* perde cerca de 20% da velocidade inicial, como seria de esperar a energia que o *stick* tem inicialmente, é transformada noutros tipos de energia, levando à perda de velocidade do *stick*.

Essa perda de energia vai reflectir-se na velocidade final da bola, se houvesse conservação de energia a velocidade da bola à saída seria igual a velocidade final do *stick*, como se vê em seguida, isso não se verifica.

$$m_S \cdot v_{Si} + m_B \cdot v_{Bi} = m_S \cdot v_{Sf} + m_B \cdot v_{Bf}$$

$$\frac{523}{1000} \times 25 + \frac{155}{1000} \times 0 = \frac{523}{1000} \times 20 + \frac{155}{1000} \times v_{Bf}$$

$$v_{Bf} = 16,87 m/s = 60,73km/h$$

A velocidade inicial da bola é cerca de 16% inferior a velocidade final do *stick*.

Este trabalho de cálculo não foi efectuado para cada ensaio, como seria de esperar, trata-se apenas de uma aproximação ao valor esperado da velocidade de saída da bola que o dispositivo de testar *sticks* consegue imprimir.

Assim sendo para efectuar os registos de velocidade da bola, utilizou-se o radar de velocidade, posicionado como se mostra na figura 43.



Figura 43 – Local onde o radar foi colocado.

Vários remates foram efectuados com o dispositivo de testar *sticks* e medidas as respectivas velocidades finais da bola, as quais podem ser vistas na tabela 9.

Tabela 9 – Registo das velocidades da bola.

<i>Stick</i> JET Compac	
Bola tangente [km/h]	Bola centro [km/h]
60	64
64	64
62	64
Média \pm Desvio Padrão	
62 ± 2	64 ± 0
<i>Stick</i> JET Special Force	
Bola tangente [km/h]	Bola centro [km/h]
61	66
61	64
62	64
Média \pm Desvio Padrão	
$61 \pm 0,58$	$65 \pm 1,15$

Verifica-se que o resultado do cálculo (60,73km/h) efectuado para estimar a velocidade de saída da bola não está longe do valor médio real (63km/h), adquirido com o radar de velocidade, verifica-se um erro de 3,6 %, o que não é de facto considerável, dadas as

aproximações efectuadas. Fica assim conhecida a velocidade que o dispositivo de testes consegue imprimir a bola, cerca de 63km/h é a velocidade conseguida, podendo ser mais ou menos dependendo das condições impostas na execução do remate.

6.4 Ensaios experimentais dos *sticks*

Sendo o principal objectivo deste estudo a caracterização do comportamento dinâmico de um *stick* de hóquei em patins, foram feitos vários remates com recurso ao dispositivo de teste de *sticks* construído no âmbito deste trabalho. Foram exploradas diferentes posições da bola em relação ao *stick*, diferentes formas de impacto, nas quais o *stick* bate na bola em máxima força ou em máxima velocidade, realizamos remates em que uma massa extra foi adicionada a pá do *sticks* inclusive colamos na pá do *stick* um material sintético esponjoso, de forma a distinguir possíveis diferenças no comportamento do mesmo.

Fez-se a montagem dos equipamentos utilizados na realização dos ensaios, tal como se mostra na figura 44.



Figura 44 – Esquema de montagem dos instrumentos de medição.

Os extensómetros foram ligados ao módulo de aquisição de sinal, o qual funciona associado ao LabVIEW SignalExpress, que é um software de aquisição de dados, produzido pela empresa National InstrumentsTM, o módulo foi utilizado na sua capacidade máxima de aquisição de sinal ou seja 10KHz, pois os fenómenos que pretendíamos estudar ocorrem em intervalos de tempo muito curtos. A câmara de vídeo com registo de alta velocidade foi colocada na posição que se mostra na figura 44, garantindo que se fazia a aquisição do momento de impacto da bola com o *stick*. Fez-se o acerto da luz, pois quanto maior a frequência de aquisição de imagens, maior a intensidade luminosa necessária, para o efeito utilizaram-se quatro holofotes com 1000W cada, a câmara de vídeo foi regulada para uma aquisição de imagens de 500 fps.

Iniciaram-se os ensaios começando por variar a posição da bola relativamente ao eixo do *stick*, ou seja, fazendo ensaios nos quais o contacto do *stick* com a bola ocorre na tangente ao eixo do *stick* (figura 45) ou então no centro da pá do *stick* (figura 46).



Figura 45 – Posicionamento da bola no centro da pá.



Figura 46 – Posicionamento da bola na tangente com o eixo.

Isto permitirá distinguir a influência da zona de impacto da pá com a bola, para além disso é possível simular o que na realidade acontece quando um jogador executa um remate em pronação, no qual a bola bate bem perto da ponta da pá do *stick*, provocando a torção deste, como se mostra na figura 47.



Figura 47 – Esquema de zona de impacto de um remate em pronação.

Uma vez que o mecanismo permite o ajuste do ângulo de remate, este foi afinado de forma a corresponder a inclinação do *stick* dada pelo hoquista quando efectua um remate, esta inclinação corresponde a um ângulo de 25° , que o *stick* faz com a vertical, como se ilustra na figura 48.



Figura 48 – Posicionamento do *stick* com 25° de inclinação.

Efectuaram-se também alguns remates, nos quais o *stick* foi colocado numa posição mais vertical, modificou-se o ângulo de fixação deste, de tal forma, que a pá do *stick* ficou paralela ao chão (figura 49).



Figura 49 - Posicionamento do *stick* com pá paralela ao chão.

O intuito desta experiência foi perceber se o facto de variar o ângulo de remate, influenciaria de alguma forma o desempenho dinâmico do *stick*.

O passo seguinte foi realizar ensaios, nos quais os *sticks* apresentavam um acréscimo de massa na pá, com isto pretende-se, modificar as propriedades de inércia do *stick*, percebendo de que forma esta característica influencia o seu comportamento dinâmico.

Para além dos ensaios descritos, nos quais se fez variar a posição da bola relativamente a pá do *stick*, o ângulo de remate e o acréscimo de massa na pá, um outro ensaio foi realizado, no qual se colou na pá do *stick* um material com propriedades diferentes da madeira, um material sintético esponjoso (figura 50). A colagem deste material na pá visa perceber se desta forma, conseguimos um aumento do tempo de contacto da bola com a pá do *stick*.



Figura 50 – Material sintético colado na pá dos *sticks*.

Não menos importante do que todos os pormenores descritos, é o facto de termos realizados remates nos quais o mecanismo de teste foi colocado em diferentes posições (figura 25), o que permite executar remates em máxima força, ou em máxima velocidade. O que distingue estas situações é o facto do mecanismo quando posicionado para remate em máxima força, prevê o impacto do *stick* com a bola, no instante em que a mola desenvolve a maior força, situação em que o braço do momento produzido pelo dispositivo é maior. No caso em que o mecanismo está na posição de maior velocidade, o momento em que o impacto se dá, coincide com o instante em que o *stick* atinge a máxima velocidade, instante esse em que a mola já não está a actuar.

Durante os ensaios, registaram-se alguns inconvenientes. As ligações eléctricas dos extensómetros deram alguns problemas, pois rebentaram ao fim de alguns ensaios. Inicialmente pensou-se que a origem deste problema estava na qualidade da solda, dúvida que desapareceu quando ambos os extensómetros apresentam o mesmo problema nas ligações, na figura 51 podemos ver o sinal adquirido na altura em que tal facto ocorreu, após observar o sinal percebeu-se que algo errado teria sucedido.

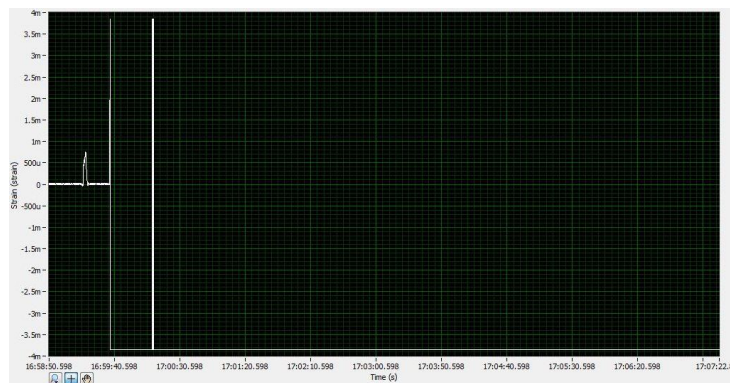


Figura 51 – Sinal adquirido com extensómetro danificado.

Reconheceu-se que isto ocorre, uma vez que as acelerações geradas durante os ensaios são elevadas, dada a existência de massas em movimento, caso das gotas de solda, desenvolvem-se forças de grande amplitude, as quais não são suportadas pelas ligações, conduzindo desta forma ao rebentamento das mesmas.

A solução encontrada para contornar o problema, passou-se a adoptar uma nova estratégia de protecção das ligações dos extensómetros (figura 52). Esta protecção revelou-se funcional e suficiente, uma vez que não voltaram a ocorrer tais incidentes.



Figura 52 – Protecção das ligações eléctricas do extensómetro.

Por fim realizou-se um ensaio em que apenas o *stick* foi posto em movimento, procedeu-se da mesma forma que para um ensaio normal, mas desta vez sem bola. O intuito foi perceber qual seria o comportamento do *stick* isoladamente, pois durante os ensaios realizados anteriormente, apareciam duas frequências de vibração distintas, suspeitando-se que uma das quais seria da própria estrutura, e não resultante do impacto. O sinal recolhido do ensaio pode ser visto na figura 53 e veio comprovar isso mesmo.

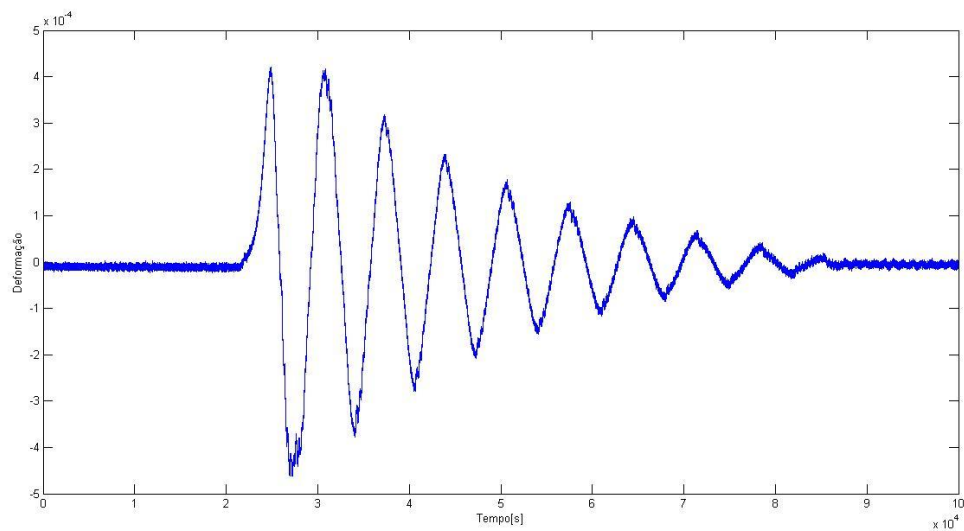


Figura 53 – Deformações registadas pelo extensómetro, apenas com o *stick* em movimento.

Quando comparamos este sinal aos obtidos anteriormente, percebe-se realmente que esta frequência é da estrutura de suporte do dispositivo de testes, a qual não interessa para o estudo em causa. Assim na altura de analisar e tratar os resultados, estas frequências foram eliminadas.

7 Apresentação e discussão dos resultados

Os resultados obtidos nos ensaios realizados, serão apresentados no presente tópico. Destes constam o registo gráfico das forças desenvolvidas nos *sticks*, durante o remate e algumas imagens recolhidas pela câmara de alta velocidade.

Todos os resultados, que às deformações dos *sticks* dizem respeito, foram tratados recorrendo ao MATLAB[®].

Este estudo visa perceber o comportamento dinâmico do *stick*, bem como, de que forma as características do mesmo influenciam o seu comportamento. Na figura 54 pode ser vista uma sequência de remate, feita com imagens recolhidas pela câmara de filmar de alta velocidade, o remate foi executado com o *stick* JET Special Force, com o equipamento de teste na posição de máxima velocidade, o *stick* está posicionado com uma inclinação de 25° e a bola colocada na posição em que o contacto com o *stick* ocorre no centro da pá. Nesta sequência é visível o comportamento dinâmico do *stick* durante todo o movimento de remate. Pode então comparar-se com a da figura 55 que mostra uma sequência de remate, mas este executado por um atleta, desta forma pode averiguar-se o comportamento do *stick* em ambas as situações, percebendo se o mecanismo está a reproduzir ou não da melhor forma os movimentos de remate.

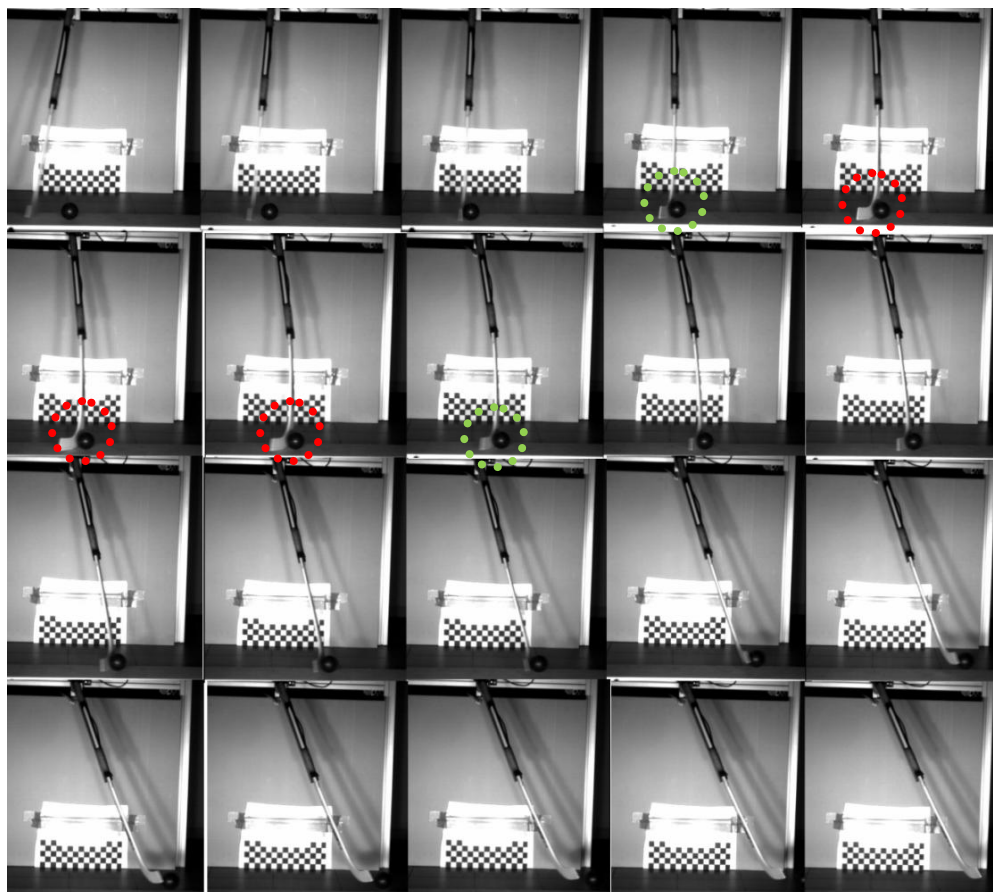


Figura 54 – Sequência de remate executado pelo dispositivo de testar *sticks*.



Figura 55 – Sequencia de remate executado por um atleta.

Desta primeira análise podemos concluir que o mecanismo projectado para testar os *sticks*, adapta-se as necessidades, pela comparação efectuada entre as figuras 54 e 55, foi possível constatar tal facto, pois o comportamento do *stick* revela-se idêntico quer quando o remate é efectuado por um atleta, quer pelo dispositivo de testar *sticks*.

Os resultados serão apresentados separadamente, distinguindo-se os resultados obtidos nos ensaios realizados com o *stick* JET Compac e os resultados obtidos nos ensaios realizados com o *stick* JET Special Force.

Na figura 56 mostra-se o resultado típico obtido nos ensaios realizados, contudo apenas o instante do impacto foi analisado, afincadamente.

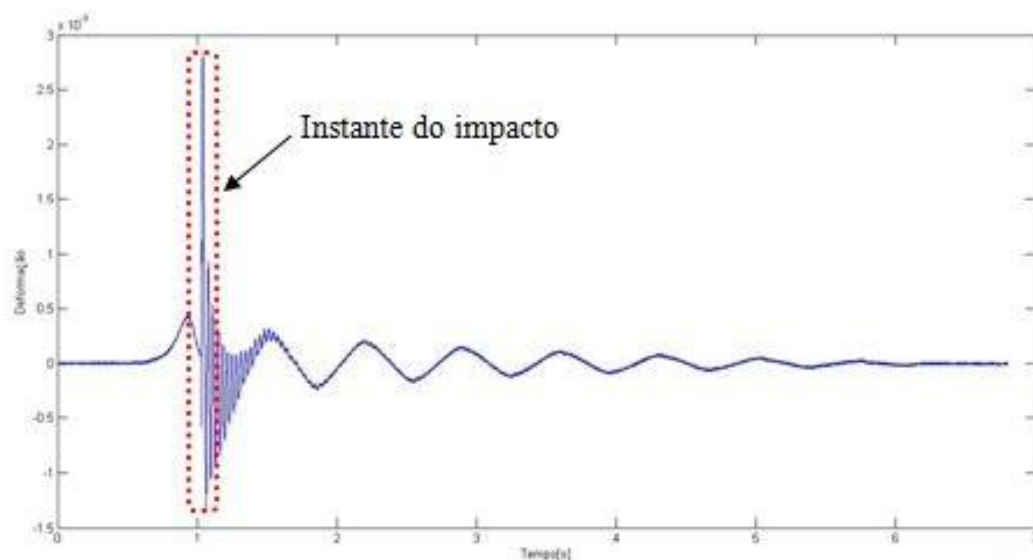


Figura 56 – Gráfico das deformações do *stick* JET Compac.

Na figura 57 mostra-se em pormenor o instante do impacto para o ensaio realizado com o *stick* JET Compac, no qual o dispositivo de testes estava montado para simulação de remate em máxima velocidade e contacto do *stick* com a bola a ocorrer no centro da pá. O gráfico de força em função do tempo é obtido, tendo em conta a calibração dos *sticks* realizada, da qual resulta a equação da recta de calibração que permite obter a força a partir do conhecimento prévio das deformações. Os resultados são tratados com recurso ao MATLAB[®], de forma a obter apenas o instante do impacto.

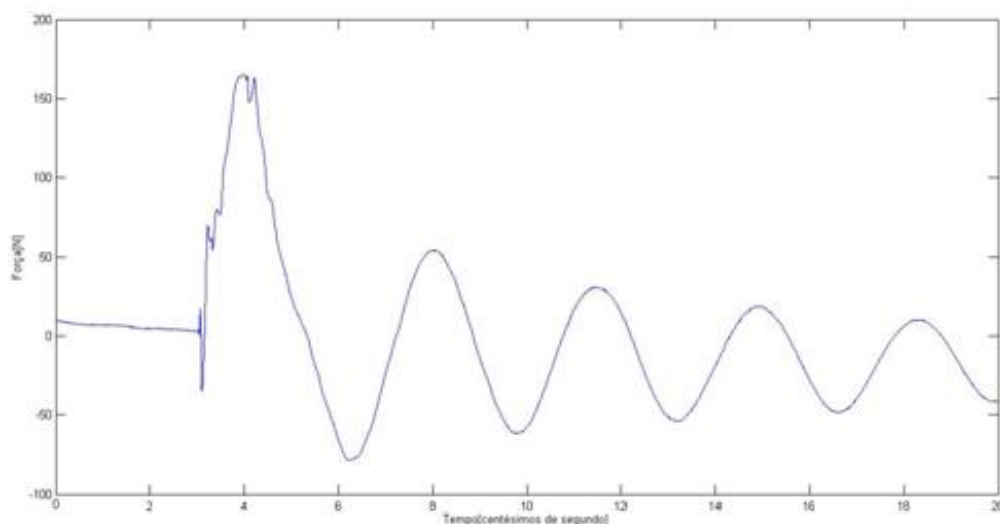


Figura 57 – Força desenvolvida no instante do impacto. *Stick* JET Compac, ensaio em máxima velocidade, bola no centro.

O facto da análise recair apenas neste instante, tem a ver com a conclusão retirada durante o estudo das filmagens efectuadas, nas quais se verifica que em certos ensaios a bola bate mais do que uma vez na pá do *stick*, como se mostra na figura 58, na qual se apresenta em pormenor uma sequência de remate onde esse efeito é perfeitamente visível.

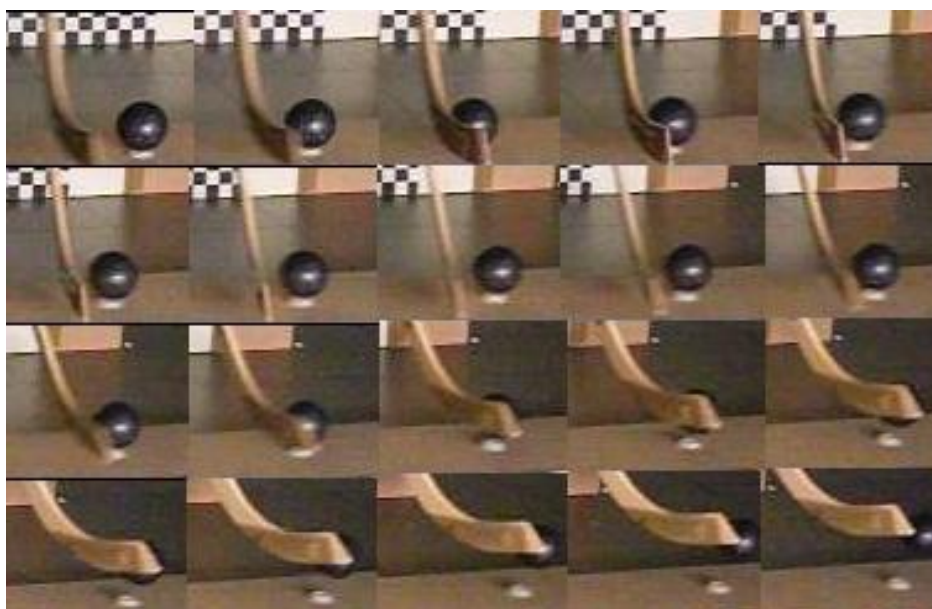


Figura 58 – Pormenor do instante do impacto.

Como tal nos próximos resultados apenas se fez referência ao instante do impacto.

O gráfico que se apresenta a seguir, na figura 59, diz respeito ao remate efectuado com o mecanismo na posição de máxima velocidade, e a bola posicionada tangente ao eixo do *stick*.

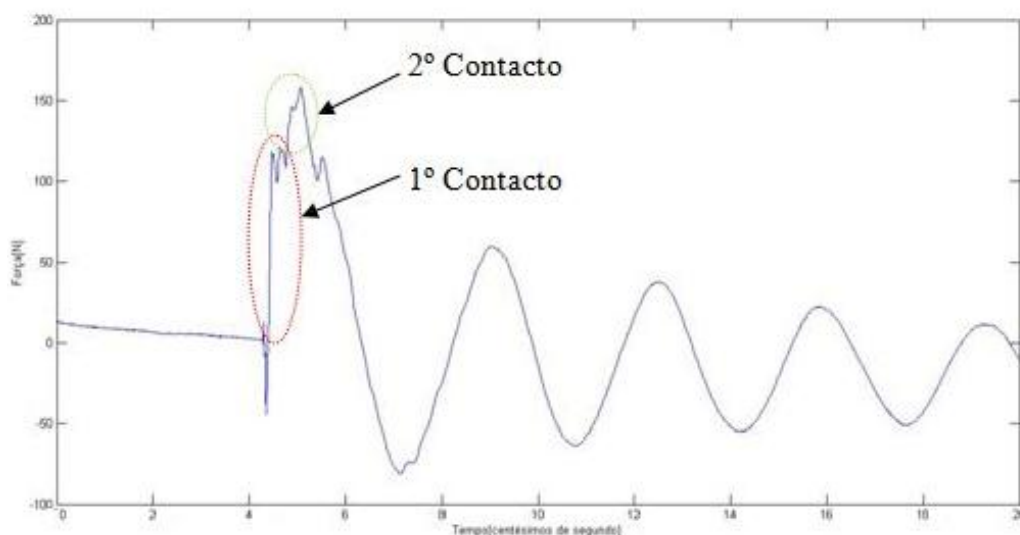


Figura 59 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick JET Compac*, máxima velocidade, bola tangente.

No gráfico apresentado é possível observar a ocorrência de dois contactos entre o *stick* e a bola. A duração do primeiro contacto é de 0,0008s e a duração do segundo contacto é de 0,0031s, a força máxima registada foi 158N. A situação descrita não se verifica quando o remate é efectuado com o dispositivo de testes colocado na posição de máxima força e com o stick munido do material sintético esponjoso colado na pá, o registo gráfico da força desenvolvida durante o remate (figura 60) revela a existência de apenas um contacto, bem como o registo de vídeo em alta velocidade. A amplitude da força desenvolvida neste remate é a mais elevada do que no caso anterior, sendo de 183N, o tempo de contacto também aumentou passando a ser de 0,01s.

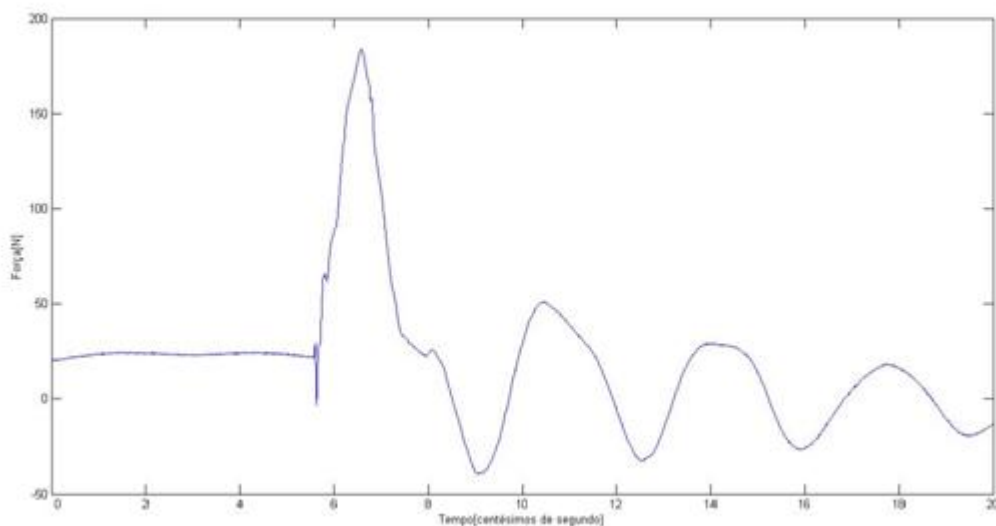


Figura 60 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Compac*, máxima força com material sintético esponjoso na pá, bola centro.

O que se observa no gráfico da figura 61, que corresponde ao ensaio no qual o dispositivo de testes está fixo na posição de máxima força, e na pá esta colada a massa de 0,039kg, é que o facto de se colocar massa na pá, reduz a força desenvolvida no remate, a qual foi de 163N, tal acontece, pois o *stick* não acelera tanto como quando não tem a massa colada na pá. Apesar de

haver um aumento de massa, esta é colmatada pela redução na aceleração do *stick*, ou seja, podia achar-se que o aumento de massa conduziria a um aumento da força desenvolvida logo a bola sairia com maior velocidade. Verifica-se que a ausência do material sintético, colado na pá, faz com que o remate se dê em dois contactos, o primeiro contacto teve a duração de 0,0007s, bastante mais curto do que o segundo que teve a duração de 0,0060s.

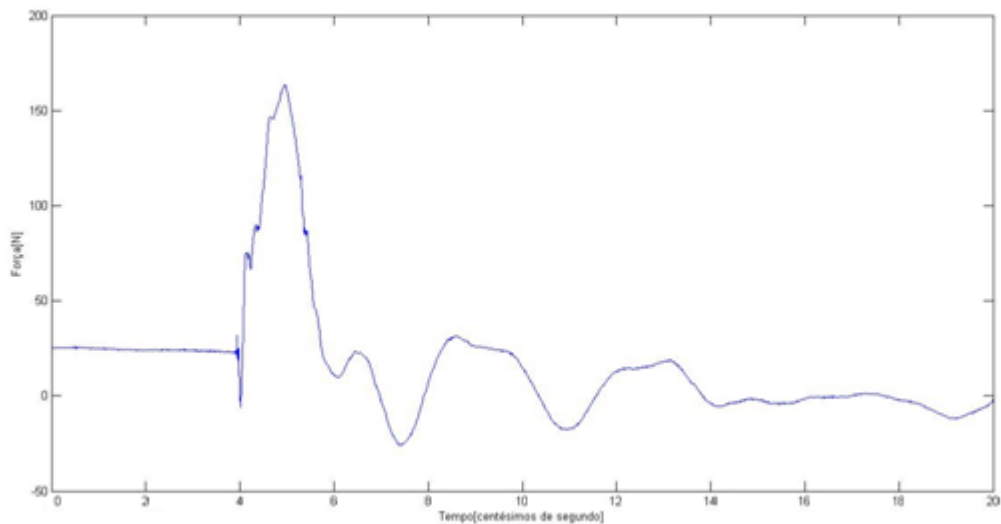


Figura 61 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Compac*, máxima força, com massa na pá.

A figura 62 apresenta o gráfico resultante do ensaio no qual o dispositivo de teste está exactamente na mesma posição descrita anteriormente, apenas difere o facto de o *stick* não ter a massa colada na pá. Como se pode ver, nesta situação a força desenvolvida foi maior, atingindo os 172N uma vez que se verificou uma maior aceleração, verificou-se também um aumento do tempo do primeiro contacto, passando este a ser de 0,0031s, já o segundo manteve o seu tempo. A única vantagem que se verifica quando se usa o acréscimo de massa, é o facto de a vibração se atenuar mais rapidamente, as ondas que se verificam depois do impacto apresentam menor amplitude quando o *stick* tem massa extra na pá

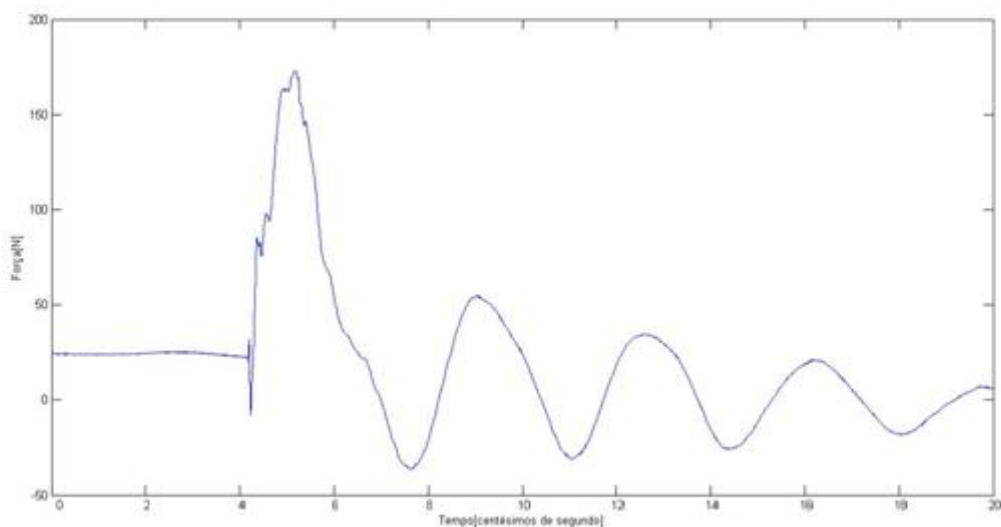


Figura 62 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Compac*, máxima força.

Dos ensaios realizados com o *stick* Compac as primeiras impressões são que o facto de se acrescentar massa na pá, provoca uma desaceleração no movimento de remate e por sua vez uma redução na amplitude da força desenvolvida durante o mesmo, esta solução apenas se revela vantajosa no sentido de minimizar vibração do *stick* após o remate. Outro facto constatado foi que a amplitude da força é maior quando o remate é efectuado com o dispositivo na posição de máxima força, registando-se o valor máximo de força no ensaio em que o *stick* tem colado na pá o material sintético, sendo esse valor de 183N.

Em seguida apresentam-se os resultados dos ensaios realizados com o *stick* JET Special Force.

Quando o remate é executado com o mecanismo na posição de máxima velocidade, tendo sido colado na pá a massa extra e o contacto do *stick* com a bola a ocorrer no centro da pá, verifica-se pela análise do gráfico da figura 63, que apenas ocorre um contacto, tendo este a duração de 0,0091s, neste ensaio a força máxima registada foi de 171N.

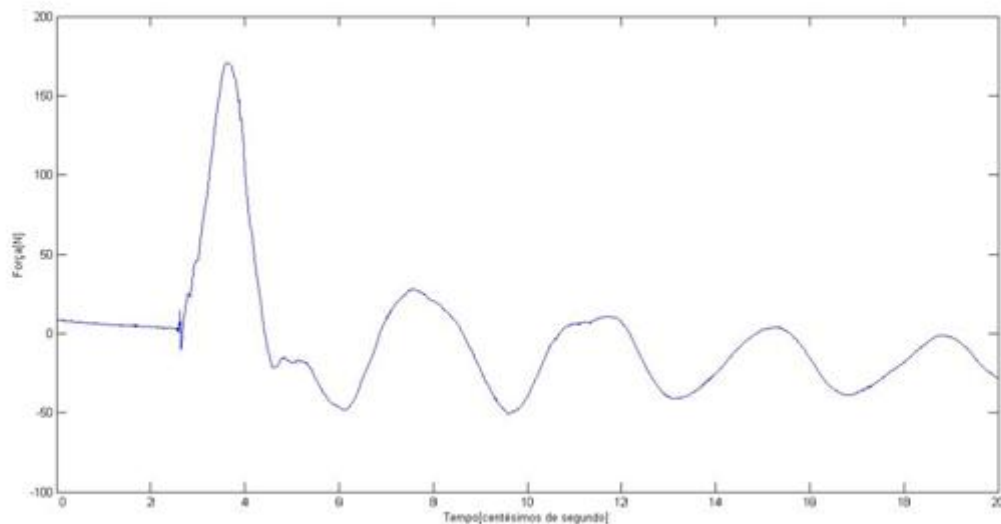


Figura 63 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick* Special Force, máxima velocidade, com massa na pá.

Comparando o ensaio anterior com o ensaio efectuado nas mesmas condições de posicionamento de mecanismo e contacto do *stick* com a bola, apenas modificando o facto de neste não existir massa extra na pá, os resultados correspondem a figura 64, o que se verifica é a ocorrência de dois contactos do *stick* com a bola antes de a bola sair definitivamente.

A duração do primeiro contacto foi de 0,0014s e a do segundo contacto foi de 0,0050s, curioso foi o registo da força máxima ser exactamente igual ao anterior, 171N. Apesar disso a amplitude das forças depois do impacto mais uma vez foi atenuada com a presença do acréscimo de massa na pá.

Não se verificou uma significativa diferença da amplitude das forças desenvolvidas durante o impacto quando se cola a massa na pá do *stick*, no caso do *stick* Compac verificou-se uma redução no valor da amplitude da força, justificada pela perda de aceleração do *stick*. Tal facto pode ter a ver com a rigidez dos *sticks*, uma vez que se verificou uma menor rigidez do *stick* JET Special Force, tal poderá conduzir a comportamentos semelhantes para as situações de acréscimo de massa na pá.

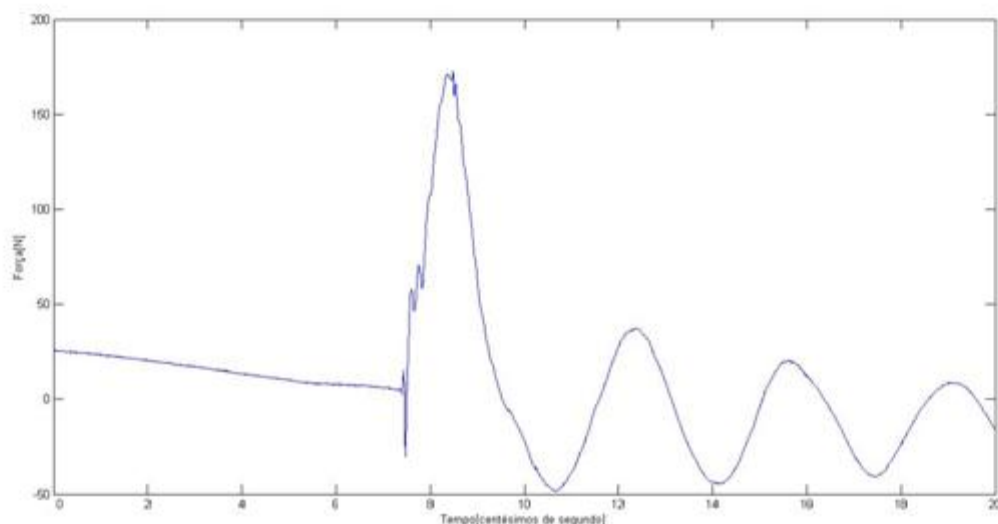


Figura 64 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima velocidade.

A presença do material sintético na pá do *stick* JET Special Force, prejudica o seu comportamento, evidenciando a ocorrência de mais do que um contacto entre o *stick* e a bola, como podemos ver na figura 65, repare-se que a força desenvolvida durante o remate é inferior, sendo o registo máximo de 160N, face ao remate executado nas mesmas condições mas sem o material sintético colado na pá. Verifica-se também uma redução da duração do primeiro e segundo contactos, sendo agora de 0,0008s e 0,0029s respectivamente.

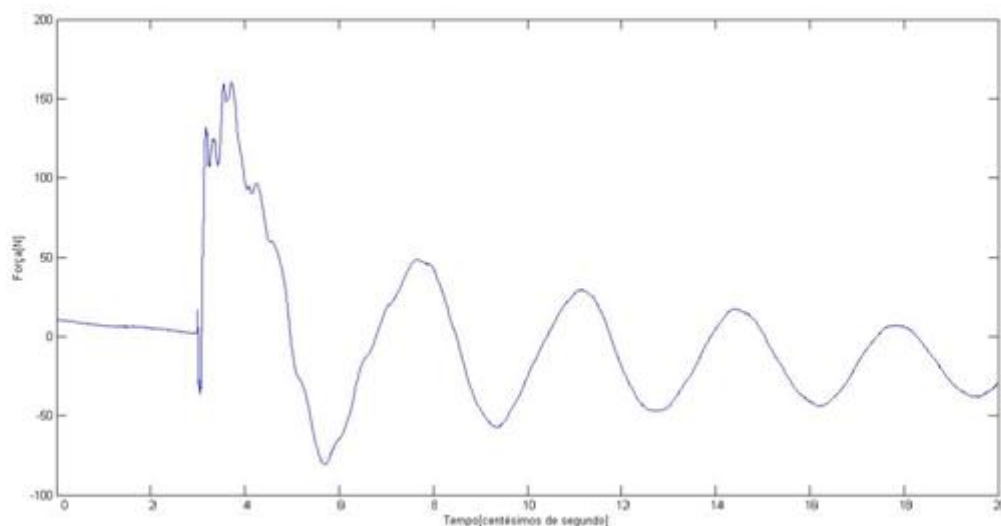


Figura 65 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima velocidade com material sintético na pá.

O gráfico da figura 66, que corresponde ao ensaio realizado com o dispositivo na posição de máxima velocidade, mas desta vez o contacto do *stick* com a bola ocorre tangente ao eixo do *stick*, neste constatamos um facto que despertou alguma curiosidade, pelo facto de o gráfico ser praticamente uma cópia do gráfico da figura 65, o que é certo é que ambos correspondem a situações de ensaio diferentes, as quais conduziram a resultados semelhantes. Registrando-se uma força máxima de 163N e um aumento da duração do primeiro contacto, 0,0017s.

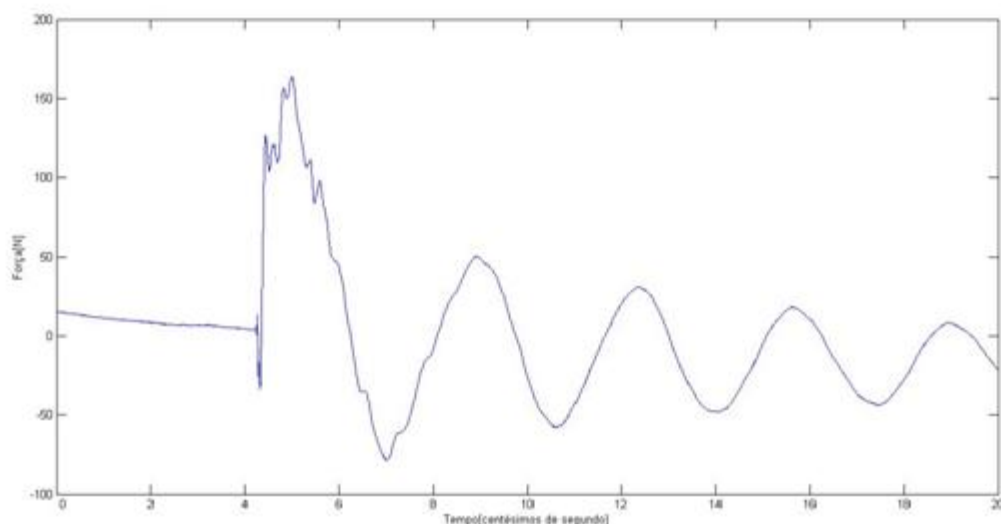


Figura 66 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima velocidade, bola tangente.

Para os ensaios realizados com o mecanismo de teste na posição de máxima força, o comportamento do *stick* JET Special Force, não é o esperado uma vez que se verificam dois contactos, como se observa no gráfico da figura 67, apesar de o tempo entre o primeiro e o segundo ser mais reduzido, face as situações de remate em máxima velocidade.

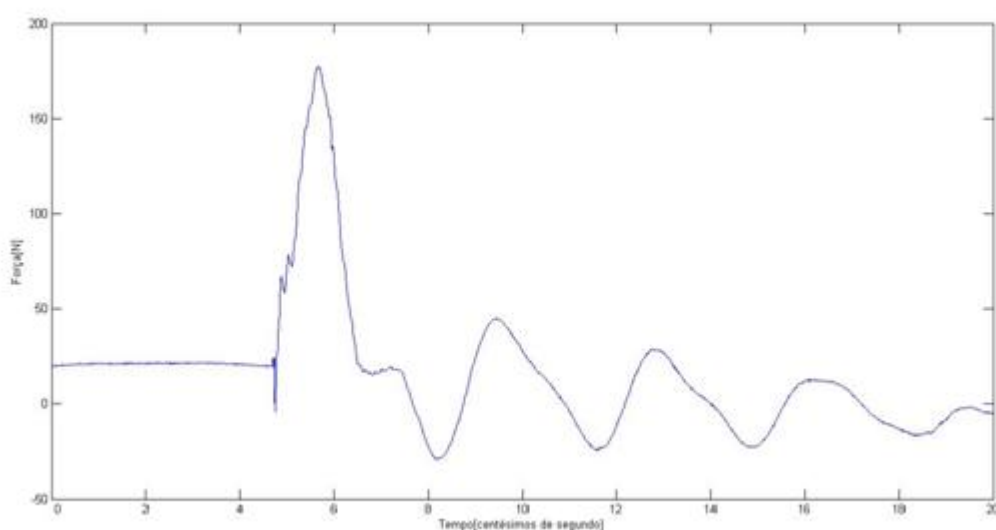


Figura 67 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima força.

Nesta situação a força máxima registada foi de 177N e a duração do primeiro e segundo contactos foi de 0,0017s e 0,0060s respectivamente.

A colocação do material sintético na pá do *stick*, pouco contribuiu para uma melhoria das performances deste. Ocorreu mesmo uma redução da duração do tempo de contacto, registando agora 0,0010s no primeiro contacto e 0,0057s no segundo, mesmo assim o patamar de força máxima atingiu os 181N. O gráfico que corresponde a este ensaio é o que se mostra na figura 68.

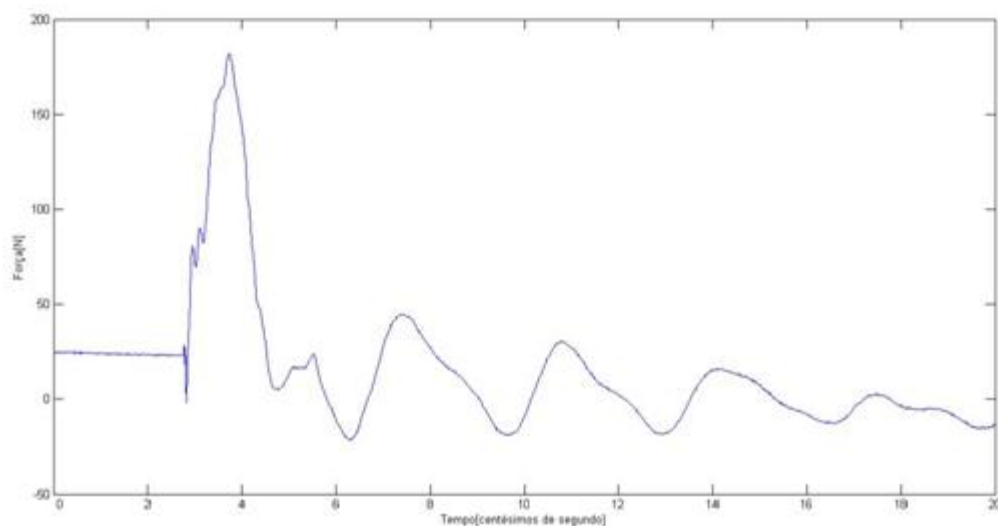


Figura 68 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima força., com material sintético esponjoso na pá.

O resultado obtido do ensaio realizado com o *stick* posicionado com a pá paralela ao chão, no qual este faz um ângulo de 13° com a vertical, é o que se mostra na figura 69, este ensaio foi o que registou o maior patamar de força, atingindo os 202N, e curiosamente o remate fez-se é apenas um contacto, com a duração de 0,0108s, este foi o ensaio no qual se registou o maior tempo de contacto e a maior força desenvolvida.

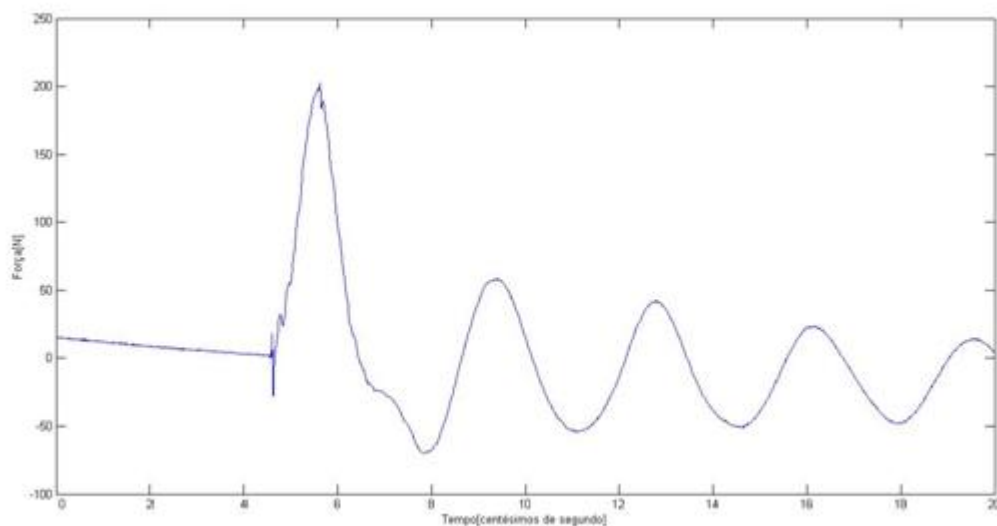


Figura 69 – Gráfico da força desenvolvida no remate. *Stick Special Force*, máxima velocidade, stick posicionado a 13° de inclinação.

Após uma atenta análise dos resultados obtidos em cada ensaio realizado com ambos os *sticks*, percebemos que as diferenças de comportamento são evidentes. Desde a força desenvolvida, até ao seu comportamento dinâmico, durante o movimento de remate.

Da análise gráfica facilmente percebemos que do impacto resulta uma excitação do stick que se traduz num fenómeno vibratório.

Verificou-se que as velocidades de saída da bola são substancialmente superiores quando o remate é feito com o contacto do stick na bola a ocorrer no centro da pá. O que não se revelou vantajoso para se obter maiores velocidades de saída da bola, foi o acréscimo de massa, este apenas se revela uma vantagem no atenuar das vibrações, após remate. Basta que olhemos para os gráficos dos registos de ensaios nos quais há acréscimo de massa comparativamente aos que não há massa, o que notamos é que após o impacto os valores das deformações são mais baixos, e mais rapidamente desaparecem.

Através das imagens registadas pela câmara de filmar é facilmente perceptível a existência de torção no stick (figura 54). Isto levou a concluir que com apenas um extensómetro a informação que estaríamos a recolher não se revela suficiente tendo em conta os fenómenos que ocorrem no *stick* durante o remate. Como é de esperar este fenómeno aumenta ou diminui consoante o local onde a bola é posicionada, se na tangente ao eixo do stick ou no centro da pá. O momento de uma força é dado pelo produto da força aplicada, pela distância ao ponto de aplicação dessa mesma força, na realidade o que estamos a fazer é variar esta distância, aumentando a mesma quando colocamos a bola no centro da pá.

O que leva a pensar que se deve realmente estudar estes fenómenos isoladamente é o facto de obtermos maiores velocidades da bola quando esta bate no centro da pá do *stick*. Assim sendo é de real importância estudar o fenómeno de torção verificado no *stick*, é possível que a velocidade aumente caso se consiga imprimir um maior momento torsor na pá. Outro facto é a média de velocidades de saída da bola registadas nos ensaios com o *stick* JET Special Force ser um pouco maior que as registadas para o stick JET Compac.

Um fenómeno que se realça quando o ensaio é realizado em posição de máxima força, e que facilmente se observa nas imagens recolhidas, é o aumento considerável do tempo de contacto do stick com a bola. Na figura 70 mostra-se esse fenómeno.



Figura 70 – Sequência de remate em máxima força.

Em momento algum a pá do *stick* perde o contacto com a bola. Isto revela-se uma vantagem pois o aumento do tempo de contacto facilita a transmissão de energia à bola. O mesmo não se verifica na figura 50, que corresponde a uma sequência de remate efectuada com o mesmo *stick* mas na condição de remate em máxima velocidade, nessa figura estão assinalados com círculos vermelhos os momentos em que deixa de existir contacto, e a círculos verdes os momentos do primeiro e do segundo contacto.

Fez-se ainda uma tentativa de análise do efeito da torção do *stick*, uma vez que este fenómeno é bem visível nas imagens recolhidas. Esta tentativa passou pela instrumentação do *stick* com mais um extensómetro colado a 90° relativamente ao actual, mas as medições efectuadas neste sentido não foram conclusivas. Deveria ter sido usada uma roseta de extensómetros colados a 45° graus, para se obter o registo das tensões de corte que surgem devido a torção do eixo do *stick*. Uma nova análise não foi efectuada dada a falta de tempo e disponibilidade do material necessário. Contudo pelas imagens recolhidas e tendo em conta a informação relativa as velocidades de saída da bola é possível perceber que o fenómeno da torção tem influência no remate sendo responsável por uma pequena parte da quantidade de movimento transferida para a bola, influenciando na sua velocidade.

Outro aspecto importante e notório, que suscitou curiosidade foi o facto de o remate em máxima força originar menor torção que o remate feito em máxima velocidade, verifica-se que o contacto ocorre de uma forma mais suave, contudo desenvolvem-se em seguida forças

de maior amplitude, que mais uma vez se traduzem em melhorias nas performances do remate.

Tais factos levam a concluir que a velocidade conseguida no remate não depende exclusivamente da força do hoquista, nem somente das características dos *stick*. A habilidade do jogar, tem grande influência, é importante o jogador saber conciliar todos os factores, e uma técnica de remate apurada pode revelar-se um grande passo no sentido de melhorar as performances de remate.

Mais uma vez se prova a dificuldade deste tipo de estudo. Mesmo depois de todo o trabalho desenvolvido em torno do conhecimento do comportamento do *stick*, persiste a problemática da biomecânica do stick, a relação que o seu comportamento tem com a forma do hoquista o utilizar.

8 Conclusão

O decurso do presente trabalho, acarretou, alguns objectivos, aos quais se tentou corresponder, recorrendo sempre a metodologias baseadas em ferramentas e métodos normalmente utilizados na caracterização de estruturas e componentes em Engenharia Mecânica.

O estudo recai sobre o comportamento dinâmico do *stick*. Analisou-se então o desempenho dinâmico de dois *sticks*, com características distintas, ao nível da distribuição de massas, geometria, inércia e rigidez.

Este estudo traz consigo algumas dificuldades, não só pelo facto de os movimentos do *stick* terem que ser analisados pormenorizadamente e em curtos intervalos de tempo, mas também porque o movimento de remate teria que ser reproduzido repetidas vezes, mantendo determinados padrões. Uma vez que não só as características do equipamento em estudo influenciam o remate, mas o próprio atleta tem uma forte contribuição para a boa execução do mesmo.

A grande maioria dos equipamentos utilizados para a caracterização dos *sticks*, já existia, tendo sido desenvolvidos pelo LOME/INEGI, dos quais se destaca o dispositivo de determinação da rigidez, momento de inércia e centro massa, que constituem o centro de diagnóstico.

Fulcral e imprescindível para a viabilidade deste trabalho foi o dispositivo construído para testar os *stick*, sem este elemento seria mais complicada a abordagem ao propósito do presente estudo, tornando-se impossível a viabilidade do mesmo.

O dispositivo revelou-se eficaz, desempenhando de forma satisfatória a tarefa para a qual foi construído, por comparação, os movimentos executados pelo mecanismo mostraram ser semelhantes aos do hoquista durante o remate. As possibilidades de afinação deste dispositivo permitiram adaptar o mesmo para diferentes formas de remate, possibilitando uma avaliação mais abrangente do comportamento dinâmico do *stick*.

A modificação introduzida na pá do *stick* JET Special Force não revela diferenças significativas no comportamento do *stick*. O factor que mais influencia o comportamento deste equipamento é a rigidez do cabo, este aspecto conduz a comportamentos distintos, prevendo melhorias no tempo de contacto entre a bola e o *stick*, tempo este que se reflecte na força desenvolvida durante o remate.

De notar que as metodologias adoptadas, no decorrer deste projecto revelaram-se adequadas e permitiram conhecer o comportamento dinâmico dos *sticks*. Esta análise permitiu perceber que pouco ou nada tem sido feito por este desporto, ou que o que tem sido feito não visa a melhoria das performances dos atletas.

A abordagem a este assunto foi como seria de esperar uma abordagem tendo em conta o que no nosso curso se estuda, tentou-se com o conhecimento adquirido dar um passo no desenvolvimento deste equipamento desportivo, que pouco ou nada evoluiu desde o seu aparecimento.

Espera-se que este trabalho seja o ponto de partida para novas investigações nesta área pois ainda há muito para fazer no que ao tema diz respeito, basta olhar para o lado e ver o que no hóquei no gelo se faz, sendo este o desporto homólogo do hóquei em patins.

9 Trabalhos futuros

Com a realização deste trabalho ficou-se a conhecer em profundidade o comportamento de um *stick* de hóquei em patins, durante o movimento de remate, algo até então desconhecido, uma vez que ainda nada tinha sido feito nesta área, daí a relevância do estudo realizado.

O equipamento de teste de *sticks* construído e as metodologias seguidas revelaram-se adequados e podem ser utilizadas na análise de qualquer *stick* de hóquei em patins, podendo revelar-se bastante útil e perspicaz, quando a tarefa for atribuir o melhor *stick* para um atleta.

Futuramente o que poderia ser feito, passa por detalhar em pormenor a interacção do *stick* com o atleta, e a forma como este o maneja, de forma a obter a maior potência de remate. Ficou claro que o movimento de remate não deve apenas limitar-se ao movimento de rotação do troco, deve ser estudado com mais profundidade o movimento de torção da pá do *stick*, de forma a tornar o remate mais poderoso e preciso.

Talvez o tipo de treino ou os músculos a trabalhar devam ser explorados de uma outra forma, tendo em conta os princípios da biomecânica.

Neste trabalho não ficou definitivamente resolvido o problema da influência da geometria do cabo do *stick*, tirando partido deste efeito sob a rigidez do *mesmo*, obtendo assim *sticks* com diferentes comportamentos. Mesmo a aplicação de materiais compósitos no fabrico do cabo do *stick*, seria algo que poderíamos explorar futuramente, tentar aprofundar melhor o que é feito a este nível no hóquei no gelo, sendo este um desporto em franco desenvolvimento e com muitos estudos realizados a vários níveis.

Finalmente deve referir-se que a experiência adquirida na construção de equipamentos experimentais será de grande utilidade para produzir novas soluções, ou variantes do dispositivo utilizados para os testes dos *sticks*. Nomeadamente a possibilidade de automatizar o sistema, viabilizando ainda mais o mecanismo de testes e avaliação científica dos *sticks* de hóquei em patins.

10 Lista de referências e Bibliografia

- [1] – Velasco, F. (1982). *Hóquei em Patins*. Portugal: Editorial Presença.
- [2] – Alves, L. (2003). *Análise das acções defensivas da selecção sénior feminina de hóquei em patins, nas finais de 1999,2000 e 2001*. Monografia, Curso superior de educação física e desporto, Instituto Superior da Maia.
- [3] – Lacerda, S. (1991). *O Hóquei em Patins em Portugal*, 1ª Edição. Porto: Edições Asa.
- [4] – Associação de Patinagem de Lisboa. http://www.aplisboa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1407&Itemid=00045. (Abril 2011).
- [5] – Cabral, A. (1998). *Jogos populares portugueses de jovens e adultos*, 3ª Edição. Lisboa: Editorial notícias.
- [6] – Silva, R. (2006). *A Tomada de Decisão no Hóquei em Patins: Estudo comparativo entre atletas da 1ª e da 2ª divisão, em situações de contra-ataque*. Monografia realizada no âmbito da disciplina de Seminário do 5º ano da licenciatura em Desporto e Educação Física, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- [7] – Federação de Patinagem de Portugal. (2010) *Regulamento técnico*.
- [8] – Federação de Patinagem de Portugal. (2010) *Regras de jogo*.
- [9] – Vaz, M., Ramos, N., Abrantes, J., Melo, F. & Conceição, F. (2011). *Biomechanics of the Penalty Stroke in Roller Hockey*.
- [10] – Zechin, E. (2003). *Biomecânica da Patinação de Atletas de Hóquei Sobre Patins*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação Interunidades em Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/ Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo.
- [11] – Ice Hockey Sticks. <http://www.icehockeystickscentral.com/ice-hockey-sticks> (Junho 2011)
- [12] – Worobets, J., Fairbairn, J. & Stefanyshyn, D. (2006). The influence of shaft stiffness on potential energy and puck speed during wrist and slap shots in ice hockey. *Sports Engineering* 9, 191-200.
- [13] – Theoret, D., Lamontagne, M., Kendall, M. & Potoczny, S. (2002). The Effect of Stick Curvature on Wrist Shot Execution of Pee wee and Junior Aged Ice Hockey Players. *Biomechanics of Hockey Research Laboratory, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada*.
- [14] – Marino, G., Louisville. Biomechanical Investigation of Performance Characteristics of Various Types of Ice Hockey Sticks. *University of Windsor, Windsor, Ontario, Canada*.

- [15] – Honório, E. (1988). *Hóquei em patins, aspectos específicos da modalidade*. Portugal: Ministério da educação direcção geral do desporto.
- [16] – U.S.Department of Agriculture. (2007). *The encyclopedia of Wood*. U.S. America: Skyhorse Publishing, Inc.
- [17] – Grande Enciclopédia do Desporto. (1999). *Hóquei em Patins*, Volume IV, Portugal: Manuel F. Barbosa, Editor e Distribuidor de Livros.
- [18] – Gomes, J., & Vaz, M. (2002). *Análise Experimental de Tensões*. Documento de apoio.
- [19] – Restibo, M., Almeida, F., Chouzal, F., Mendes, J. & Lopes, A. (2008). *Laboratorios de Instrumentação para Medição*. Porto: UP.
- [20] – Ruiz, A. (2010). *SolidWorks 2010: No Experience Required*. Indianapolis, Indiana: Wiley.
- [21] – Srinivas, P., Sambana, K., Datti, R. (2010). *Finite Element Analysis Using ANSYS 11.0*.
- [22] – Chapman, S. (2008). *Programming for Engineers*, 4ª Edição. Canada: Thomson.
- [23] – Stalker ATS. Catálogo do produto.
- [24] – Fastec TroubleShooter. *Portable High-Speed Digital Video Camera*. Catálogo do produto.
- [25] – Estivalet, M., Brisson, P. (2008). *The engineering of sport 7*, volume II. França: Springer.
- [26] – Hibbeler, R. (2005). *Mecânica para engenharia*, 10ª Edição. São Paulo: Prentice Hall.

ANEXO A: Desenhos CAD 3D do dispositivo de teste de sticks construído.

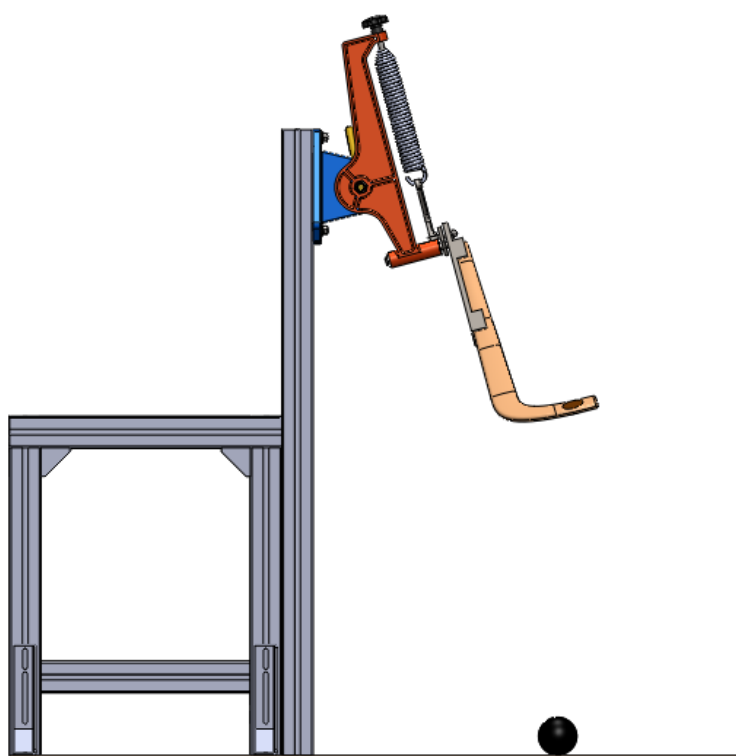


Figura 71 – Dispositivo de teste de *sticks*.

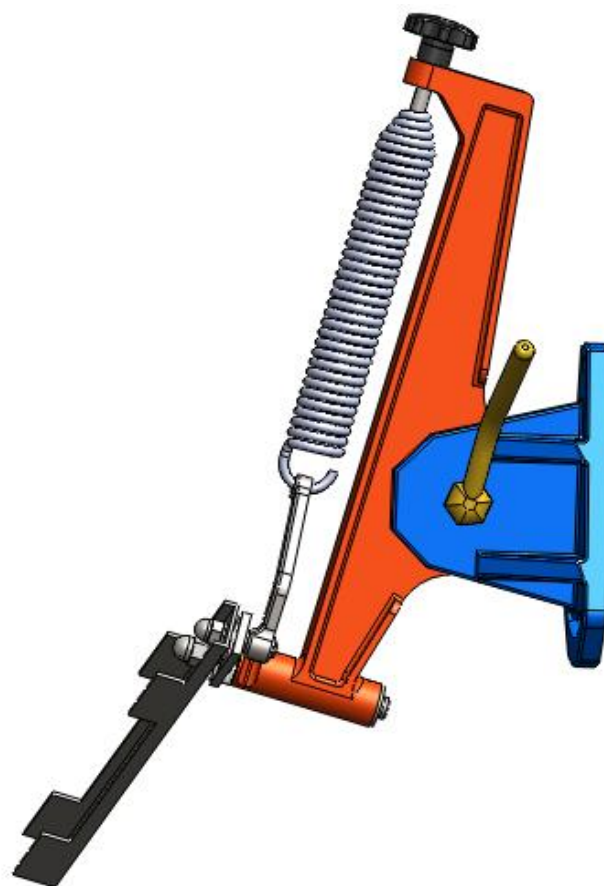


Figura 72 – Vista lateral do dispositivo de teste de *sticks*.

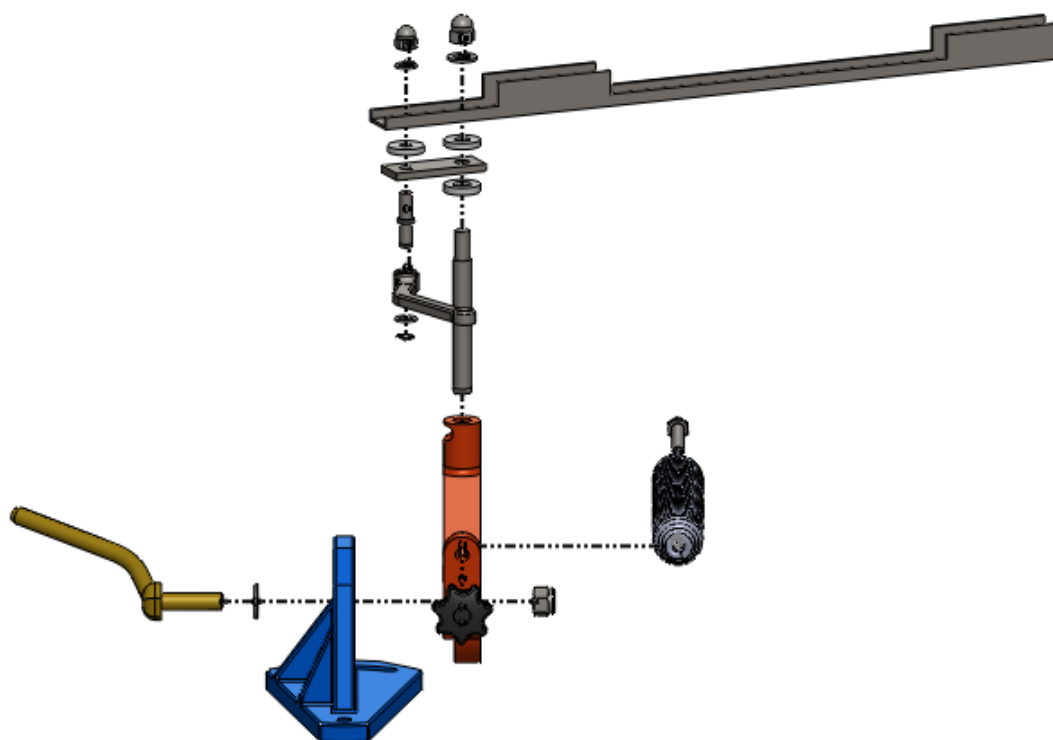


Figura 73 – Vista explodida do dispositivo de teste de *sticks*.



Figura 74 – Fotografia real do dispositivo de teste de *stick*.